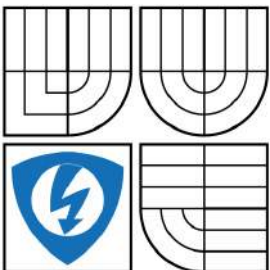


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

GATEWAY PRO PŘIPOJENÍ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY OHŘÍVAČE VODY DO CLOUDU PROSTŘEDNICTVÍM DOMÁCÍ WI-FI

GATEWAY CONNECTING A WATER HEATER CONTROLLER TO A CLOUD THROUGH A
HOME WI-FI

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

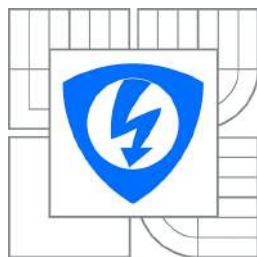
Bc. MARTIN ZRZAVÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ MACHO, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Martin Zrzavý

ID: 125719

Ročník: 2

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Gateway pro připojení řídicí jednotky ohřívače vody do cloudu prostřednictvím domácí WiFi

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou gateway umožňující připojení řídicí jednotky ohřívače vody do cloudu prostřednictvím domácí WiFi sítě.
2. Rozeberte možnosti řešení gateway. Zvolte optimální řešení pro danou aplikaci, vyberte vhodné WiFi moduly a mikroprocesor. Nakreslete blokové schéma gateway.
3. Gateway navrhnete, nakreslete schéma zapojení a stanovte hodnoty jednotlivých součástí.
4. Gateway realizujte. Vytvořte výrobní dokumentaci.
5. Pro gateway navrhnete, implementujte a odlaďte potřebné softwarové vybavení.
6. Ověřte komunikaci gateway s cloudem, diskutujte dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

IEEE 802.11. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. New York, NY: IEEE Computer Society, 2012. [online]. Dostupné z <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf>>.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 8.8.2014

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Diplomová práce pojednává o návrhu gatewaye pro připojení řídicí jednotky ohřívače vody do cloudu pomocí domácí Wi-Fi sítě. V úvodní části se práce zabývá hledáním vhodného řešení gatewaye. V další část se pak věnuje samotnému návrhu hardwaru a softwaru gatewaye a její realizaci.

Klíčová slova

Gateway, CC3100, MSP430F5418, cloud, Wi-Fi, 802.11, brána

Abstract

This master's thesis is about concept of gateway connection a water heater controller to a cloud through a home Wi-Fi network. In the first part, possible solutions of Wi-Fi gateway are described. The next part describes development of the hardware and software of gateway and its realization.

Keywords

Gateway, CC3100, MSP430F5418, cloud, Wi-Fi, 802.11

Bibliografická citace:

ZRZAVÝ, M. *Gateway pro připojení řídicí jednotky ohřívače vody do cloudu prostřednictvím domácí Wi-Fi*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 57s. Vedoucí diplomové práce byl Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Gateway pro připojení řídicí jednotky ohříváče vody do cloudu prostřednictvím domácí Wi-Fi jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **8. srpna 2014**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Machovi, Ph.D. a Ing. Radomíru Svobodovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: **8. srpna 2014**

.....
podpis autora

Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Úvod.....	11
1 Komunikační řetězec.....	12
2 Současné řešení	14
3 Požadavky na gateway	16
4 Wi-Fi - Standard 802.11.....	17
4.1.1 802.11b-1999	17
4.1.2 802.11g-2003	18
4.1.3 802.11n-2009	18
4.1.4 Zabezpečení Wi-Fi sítí.....	18
4.1.4.1 Zabezpečení pomocí WEP	18
4.1.4.2 Zabezpečení pomocí WPA.....	19
4.1.4.3 Zabezpečení pomocí WPA2.....	19
5 Sériové rozhraní UART	20
6 Komunikace mezi gateway a vzdáleným serverem	23
7 Wi-Fi moduly dostupné na trhu	27
7.1 WM-N-BM-09 (USI).....	27
7.2 Type VK – Wi-Fi module (muRata)	27
7.3 SN8200 (muRata).....	28
7.4 MRF24WG0MA (Microchip)	28
7.5 RN131 (Microchip)	29
7.6 RTX4100 (RTX)	29
7.7 CC3100 (Texas Instruments).....	30
8 Obvodové řešení.....	31
8.1 Mikrokontrolér pro komunikaci po sběrnici Modbus	32
8.2 Wi-Fi modul Texas Instruments CC3100.....	32

8.2.1	Spojení Wi-Fi modulu s mikrokontrolérem MSP430F5418.....	34
8.2.2	Spojení s pamětí flash.....	36
8.3	Galvanické oddělení rozhraní UART.....	37
8.4	Podpůrné obvody gatewaye.....	38
8.5	Napájecí obvody gatewaye.....	39
9	Návrh DPS a mechanická konstrukce gatewaye.....	40
10	Software gatewaye	41
10.1	Software pro komunikaci s CC3100.....	41
10.1.1	Funkce pro ovládání hibernace	42
10.1.2	Funkce pro inicializaci rozhraní SPI.....	42
10.1.3	Funkce pro uzavření rozhraní SPI	42
10.1.4	Funkce pro zápis na rozhraní SPI	42
10.1.5	Funkce pro čtení z rozhraní SPI.....	42
10.2	Operační systém	43
10.3	Úlohy systému	43
10.3.1	Úloha VestaDriverProcess.....	44
10.3.2	Úloha VestaLoggerProcess.....	44
10.3.3	Úloha EnviraLink_main	46
10.3.4	Úloha WifiDriverProcess.....	48
11	Konfigurační rozhraní gatewaye	50
12	Ověření funkčnosti gatewaye.....	51
13	Závěr	52
	Literatura.....	54
	Seznam použitých zkratk.....	56
	Seznam příloh.....	57

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Schéma komunikačního řetězce	12
Obr. 2 - Řídicí jednotka ohřívače vody	13
Obr. 3 – Blokové schéma nevyhovujícího řešení	14
Obr. 4 – Současný nevyhovující funkční prototyp gatewaye	15
Obr. 5 – Skladba Modbus rámce pro vyčtení z registru	22
Obr. 6 – Skladba Modbus rámce odpovědi od řídicí jednotky ohřívače	22
Obr. 7 - WM-N-BM-09 [5]	27
Obr. 8 - muRata SN8200 [7]	28
Obr. 9 - Microchip MRF24WG0MA [8]	29
Obr. 10 - Microchip RN-131 [9]	29
Obr. 11 - RTX 4100 [10]	30
Obr. 12 - Blokové schéma gateway	31
Obr. 13 – Vývojový kit Texas Instruments CC3100	33
Obr. 14 - Příklad SPI komunikace	35
Obr. 15- Blokové schéma spojení s MCU pro komunikaci po sběrnici Modbus	35
Obr. 16- Blokové schéma připojení CC3100 k MCU pro komunikaci po sběrnici Modbus	36
Obr. 17 - Blokové schéma připojení flash paměti	37
Obr. 18 - Připojení UART	38
Obr. 19 - Jumperry sloužící jako hardwarové přepínače	38
Obr. 20 - Napájecí obvod gatewaye	39
Obr. 21 - Osazená DPS	40
Obr. 22 – Schéma stavového automatu úlohy VestaDriverProcess	44
Obr. 23 – Schéma stavového automatu úloh VestaLoggerProcess	45
Obr. 24 - Schéma stavového automatu úlohy EnviraLink_main	47
Obr. 25 – Konfigurační rozhraní gatewaye	50
Obr. 26 – Záznam úspěšných připojení gatewaye ke vzdálenému serveru	51

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Srovnání verzí standardu 802.11	17
Tab. 2 – Rozdělení adres v adresovém prostoru Modbus.....	21
Tab. 3 – Adresy prvního segmentu adresového prostoru Modbus	21
Tab. 4 – Komunikace mezi gateway a vzdáleným serverem.	23
Tab. 5 – Struktur hlavičky zprávy aplikační vrstvy.....	24
Tab. 6 – Struktura zprávy Connection Query	24
Tab. 7 – Struktura odpovědi Connection Response	25
Tab. 8 – Struktura požadavku Time Query	25
Tab. 9 – Struktura zprávy Data Upload	25
Tab. 10 – Struktura datového záznamu	26
Tab. 11 - Popis vodičů rozhraní Spy-Bi-Wire	32
Tab. 12 - Seznam signálových vodičů SPI k MCU pro komunikaci po sběrnici Modbus	36
Tab. 13 - Seznam signálových vodičů SPI k sériové flash paměti.....	37

ÚVOD

Předložená práce se zabývá problematikou připojení řídicí jednotky ohřívače vody ke vzdálenému serveru pomocí bezdrátové Wi-Fi sítě. Jedná se o řídicí jednotky společnosti Honeywell, které slouží k řízení ohřevu vody v bojlerech.

Cílem této práce je vytvořit gateway (bránu), která bude součástí komunikačního řetězce a bude sloužit k přeposílání dat ze sériového rozhraní UART, které je k dispozici jako výstup řídicí jednotky, na vzdálený server přístupný na síti internet. K síti internet se má gateway připojovat pomocí bezdrátového rozhraní Wi-Fi prostřednictvím přístupového bodu v místě instalace zařízení. Vzdálený server slouží jako záznamník diagnostických dat z řídicích jednotek.

Práce je vypracována dle požadavků společnosti Honeywell HTS Brno, která se zabývá vývojem a výrobou řídicích jednotek ohřívačů. Ve společnosti již byl zhotoven prototyp gatewaye, který však není vzhledem k vysokým nákladům vhodný k hromadné výrobě. Cílem této diplomové práce je návrh a realizace gatewaye, která je ekonomicky vhodná pro sériovou výrobu ve společnosti Honeywell.

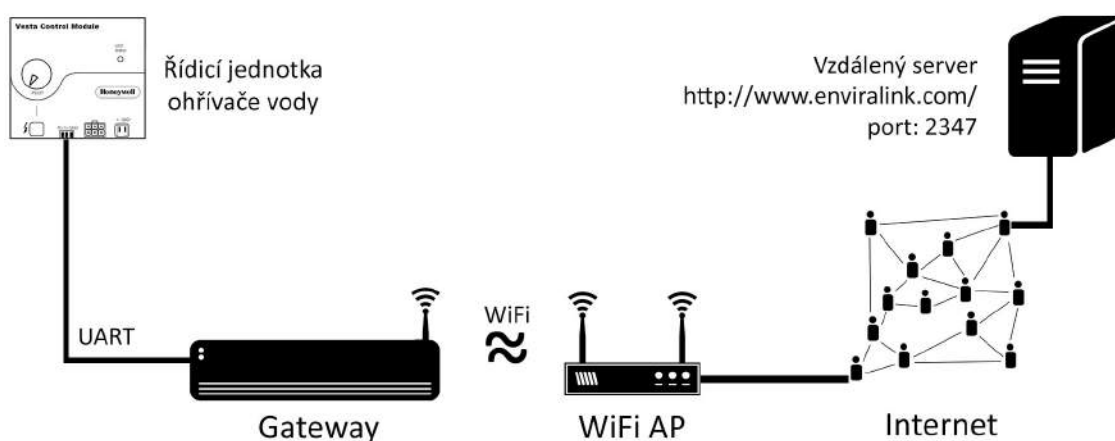
Řídicí systém plynových ohřívačů vody, s nímž máme pomocí gatewaye komunikovat, je využíván u ohřívačů pro domácnosti a malé provozovny (např. prádelny, ubytovny) o objemech od 100 do 300 l. Systém se vyznačuje výhodami v podobě šetření nákladů a času při dodržení přesné a konzistentní teploty. Mezi další výhody systému patří například inteligentní diagnostika, pomáhající při řešení problémů.

Data odesílaná na server jsou přístupná prostřednictvím webového rozhraní. K přístupu k těmto datům je třeba autorizace pomocí uživatelského jména a hesla. Systém je určen zejména pro prodejce (dealery) ohřívačů vody a jejich zákazníky. Mezi základní funkce webového systému patří např. sledování kritických výstrah a odesílání upozornění. Je zde také sledována spotřeba paliva na základě doby běhu ohřívače. Umožněn je přístup do systému pro dodavatele paliva z důvodu včasné dodávky. Dále je zde možné sledovat kvalitu plamene ohřívače a výstrahy vysokých a nízkých teplot.

Cílem této práce je odesílání diagnostických dat na vzdálený server, kde jsou tato data ukládána. Při návrhu je také zohledněna možnost v budoucnu řídicí jednotku ohřívače vzdáleně ovládat, například ji kalibrovat nebo měnit nastavené hodnoty.

1 KOMUNIKAČNÍ ŘETĚZEC

Principiální schéma komunikačního řetězce mezi řídicí jednotkou ohřívače vody a vzdáleným serverem je znázorněno na Obr. 1. Gateway v pravidelných intervalech posílá požadavek na data řídicí jednotce ohřívače prostřednictvím rozhraní UART, ta mu data poskytuje. Gateway se připojuje do sítě internet pomocí bezdrátového spojení Wi-Fi s přístupovým bodem v místě instalace zařízení. Komunikace mezi gateway a vzdáleným serverem je zprostředkováno pomocí TCP spojení.



Obr. 1 – Schéma komunikačního řetězce

V současnosti je v praxi ke spojení s jednotkou používán speciálně navržený nástroj Vesta Serial Adapter. Ten je určen ke snadnému spojení jednotky s osobním počítačem, zejména pro rychlou kontrolu její funkčnosti. Mezi další funkce nástroje patří například také kalibrace a konečné testování při opouštění jednotky z výroby. Tento diagnostický nástroj je opticky oddělené zařízení, které funguje jako převodník mezi komunikačním standardem řídicí jednotky (UART) a standardem RS232 na straně osobního počítače. Jednotka používá proprietární protokol Vesta firmy Honeywell. Jedná se o rozhraní UART používající protokol Modbus v aplikační vrstvě.

Prostřednictvím výše zmíněného sériového rozhraní máme k dispozici historii chyb jednotky, informace o aktuální revizi softwaru jednotky, výrobní data a informace o kalibraci. Jde z ní vyčítat lokální nastavení teploty, vzdálené nastavení teploty a nastavení teploty uživatelem. Dále můžeme zjistit aktuální teplotu vody v ohřívači,

teplotu prostředí, aktuální napětí termočlásku, aktuální spotřebu energie a stav plynového ventilu.

Gateway je určena ke komunikaci s řídicí jednotkou ohřívače vody. Jednotka je zařízení s nízkými energetickými nároky využívající výstup o nízkém napětí k řízení hořáku ohřívače vody.

Během své činnosti řídicí jednotka měří teplotu pomocí dvojice senzorů teploty - termistorů NTC, ponořených v komoře tanku snímající ohřívanou vodu. Na základě této teploty je řízen hlavní ventil.

Řídicí jednotka ohřívače vody je vybavena mikrokontrolérem, který řeší jednoduchou úlohu regulace hořáku ohřívače, kdy je požadavek na ohřev vyvolán na základě lokálně nastavené teploty. Tuto teplotu je možné vzdáleně snížit (nikoliv zvýšit). Regulační úloha je doplněna o algoritmy, které zvyšují efektivitu ohřevu. Jedná se například o detekci ztráty plamene, která je vyhodnocována na základě snížení napětí na měřicím termočlásku. Dále se jedná například o urychlený ohřev vody dočasným zvýšením požadované teploty nebo algoritmus pro předcházení hromadění horké vody v horní části zásobníku.

Snímač jednotky je umístěn v komůrce vyrobené z plastu. Vzhledem k relativně dlouhé časové konstantě ohřevu plastu oproti mědi je využíváno softwarové predikce aktuální teploty vody na základě změny teploty a teploty okolního prostředí.

Jednotka je vybavena bezpečnostním (Fail-safe) řešením softwaru i hardwaru. Disponuje také funkcí detekce horního limitu teploty a následného odpojení ohřívače.

Jednotka je vybavena obousměrným sériovým rozhraním. Na tomto rozhraní je používán protokol Modbus. Mezi funkce, které jdou z jednotky vyčíst, patří například stav systému a historie chyb. Nastavit lze požadovanou teplotu, teplotní diferenci (velikost hystereze). [1]



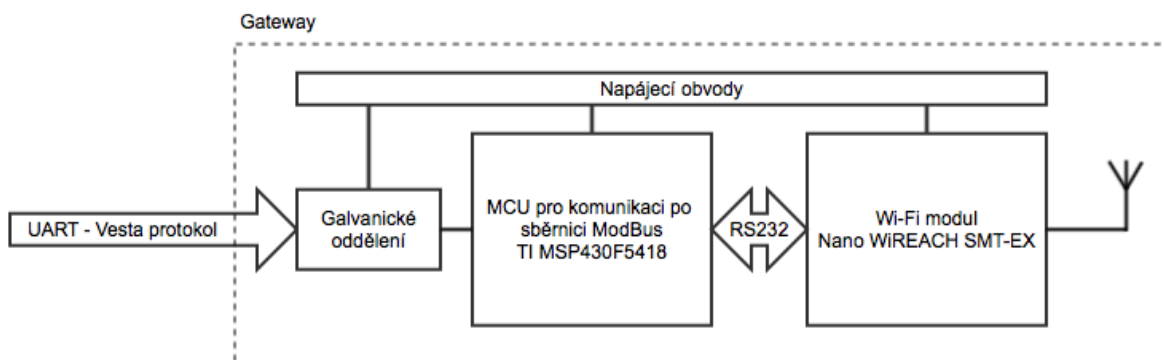
Obr. 2 - Řídicí jednotka ohřívače vody

2 SOUČASNÉ ŘEŠENÍ

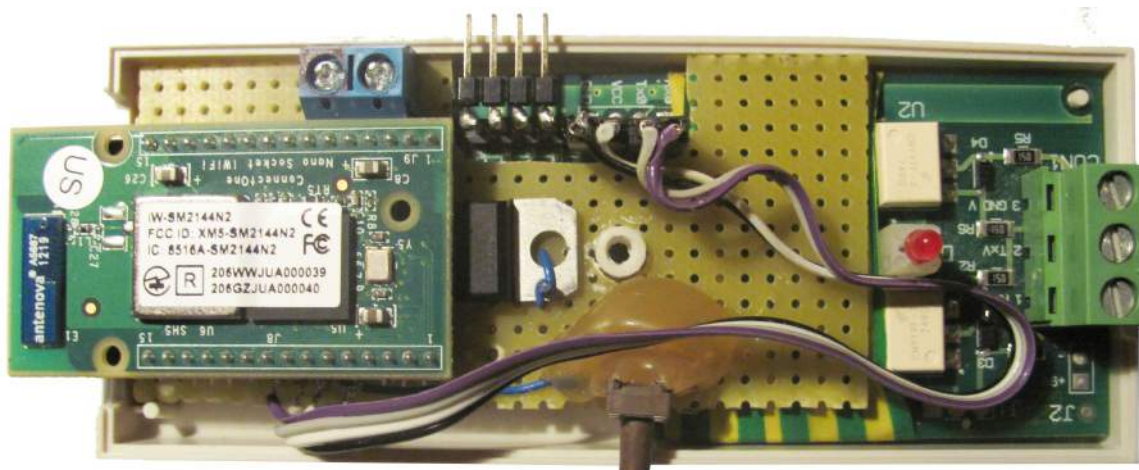
Zadání této práce bylo řešeno ve spolupráci se společností Honeywell HTS Brno. Společnost disponuje vyrobeným prototypem zařízení, které demonstruje možnost propojení řídicí jednotky ohřívače se serverem pro zpracování dat přes síť Wi-Fi a Internet. Vzhledem k vysokým výrobním nákladům a nízké robustnosti návrhu je však toto řešení nevyhovující pro komerční výrobu.

Současné nevyhovující řešení vychází z konceptu dříve popsaného nástroje Vesta Serial Adapter, který slouží k propojení řídicí jednotky ohřívače s osobním počítačem.

DPS nástroje Vesta Serial Adapter byla použita pro vytvoření prototypu s Wi-Fi modulem Nano WiREACH SMT-EX od společnosti Connect One. Modul podporuje standard Wi-Fi ve verzích 802.11b/g. Součástí modulu je 32 bitový mikroprocesor ARM7TDMI pracující na frekvenci 48 MHz. Pracuje s napětím 3,3 V. Jeho spotřeba v režimu vysílání je 250 mA a 190 mA v režimu příjmu. K mikrokontroléru, určenému pro komunikaci s řídicí jednotkou ohřívače, je modul připojen pomocí sériového rozhraní RS232. Zabezpečení spojení lze provést pomocí WEP i WPA a WPA2. Modul má certifikát FCC i certifikát ETSI.



Obr. 3 – Blokové schéma nevyhovujícího řešení



Obr. 4 – Současný nevyhovující funkční prototyp gatewaye

Jako mikrokontrolér pro komunikaci po sběrnici Modbus je použit MSP430F5418 společnosti Texas Instruments. Jedná se o 16 bitový mikrokontrolér obsahující 128 KB paměti Flash, 16 KB RAM.

Nevyhovující vysoká cena řešení vychází zejména z ceny Wi-Fi modulu Nano WiREACH SMT-EX, který stojí cca \$30. Celkové náklady jsou pak cca \$70. [2]

3 POŽADAVKY NA GATEWAY

Gateway, pro jejíž realizaci hledáme vhodné řešení, by měla splňovat dva hlavní požadavky, a to nízké výrobní náklady při zachování spolehlivosti a také bezpečnosti komunikace.

Na základě požadavku společnosti Honeywell byl pro komunikaci po sběrnici Modbus v návrhu použit mikrokontrolér MSP430F5418 firmy Texas Instruments. K tomuto mikrokontroléru máme nalézt vhodný Wi-Fi modul. Požadavek na tento konkrétní mikrokontrolér vychází z jeho použití v nástroji Vesta Serial Adapter a také v současném nevyhovujícím prototypu gatewaye, z čehož vyplývá možnost využití původního softwaru zařízení a pouhé implementace komunikace s Wi-Fi modulem.

Vzhledem k použití výše zmíněného mikrokontroléru MSP430F5418 je nutné při výběru vhodného Wi-Fi modulu zohledňovat kompatibilitu obou zařízení.

Mezi požadavky na Wi-Fi modul patří podpora standardu Wi-Fi 802.11 minimálně ve verzích b a g. Nutností je také zabezpečení přenosu na straně Wi-Fi. Dalším faktorem, podle kterého budeme Wi-Fi modul vybírat, je integrace fyzické, linkové a síťové vrstvy referenčního OSI modelu. Důležitá je také schopnost modulu pracovat jak v režimu stanice, tak v režimu přístupového bodu nebo Wi-Fi Direct. Režim přístupového bodu je nutný pro prvotní konfiguraci zařízení, tj. výběr Wi-Fi sítě a případné zadání zabezpečovacího klíče. S tím také souvisí možnost konfigurace webového serveru v zařízení. Dalším faktorem je také přítomnost antény popř. konektor pro připojení antény externí.

Mezi další požadavky na gateway patří jednotné napájení v rámci celé gateway. Gateway je připojená k síťovému adaptéru s výstupem 5V. Mikrokontrolér pro komunikaci po sběrnici Modbus vyžaduje napájení 3,3V. Preferovány proto budou Wi-Fi moduly s vhodným napájecím napětím. Nutné je také galvanické oddělení zařízení na rozhraní s řídicí jednotkou ohříváče vody.

Gateway musí splňovat všechny platné normy. Podmínkou by měla být certifikace produktu FCC pro použití ve Spojených státech a certifikát ETSI pro oblast Evropy.

Dále je třeba posuzovat zařízení také podle jeho spotřeby a výkonu vysílací části.

4 WI-FI - STANDARD 802.11

Wi-Fi je označení pro soubor standardů IEEE 802.11, které popisují bezdrátovou síťovou komunikaci. Výhodou této technologie je využívání bezlicenčního pásma. Tato technologie se stává čím dál více oblíbenou, v současné době hlavně díky hojnému rozšíření v mobilních telefonech a dalších mobilních zařízeních a domácích spotřebičích.

Sítě Wi-Fi mohou být méně bezpečné než například komunikace prostřednictvím ethernetu. Je to dáno hlavně tím, že u bezdrátového spojení není třeba, aby měl útočník fyzický přístup k médiu. Díky tomuto problému bylo do technologie implementováno šifrování spojení. Dříve hojně používané zabezpečení WEP je v současné době již technologicky překonáno, a proto se používají novější a spolehlivější metody zabezpečení WPA a WPA2.

Od doby svého vzniku prošla tato technologie velkým vývojem a vzniklo hned několik verzí standardu, které se liší zejména v rychlosti přenosu. Dále jsou popsány verze standardu, kterými má námi navrhovaná gateway disponovat. Srovnání verzí standardů je v Tab. 1.

Tab. 1 – Srovnání verzí standardu 802.11

Verze protokolu	Frekvence [GHz]	Šířka pásma [MHz]	Rychlost [Mbit/s]	Modulace	Dosah uvnitř [m]	Dosah volně [m]
b	2,4	20	11	DSSS	38	140
g	2,4	20	54	OFDM, DSSS	38	140
n	2,4/5	40	150	OFDM	70	250

4.1.1 802.11b-1999

Verze 802.11b dosahuje maximální rychlosti 11 Mbit/s při použití stejného kmitočtového pásma 2,4 GHz jako v prvotním standardu. K modulaci používá techniku přímého rozprostřeného spektra (DSSS). Jako metoda přístupu je použita metoda CSMA, konkrétně ve variantě Collision Avoidance (CA).

Výrazný nárůst rychlosti v kombinaci se snižováním ceny vedl k velkému rozšíření této technologie.

4.1.2 802.11g-2003

Verze 802.11g variantu b rozšiřuje. Velkou výhodou je její zpětná kompatibilita, jelikož vysílá ve stejném frekvenčním pásmu. Maximální rychlost tohoto přenosu je 54 Mbit/s. Jako modulační schéma je použita širokopásmová modulace využívající kmitočtové dělení kanálu (OFDM). Pracuje s rozprostřeným spektrem, signál je vysílán na vzájemně ortogonálních frekvencích.

Velkým problémem verzí pracujících na frekvenci 2,4 GHz je rušení přístroji pracujícími ve stejném kmitočtovém pásmu, jako jsou například bezdrátové telefony, bluetooth zařízení nebo dětské chůvičky.

4.1.3 802.11n-2009

Verze 802.11n je standard, který upravuje fyzickou vrstvu a podčást linkové vrstvy tak, aby se dalo docílit reálných rychlostí nad 100 Mbit/s. Zvýšení rychlosti se dosahuje použitím více vysílacích a přijímacích antén. Teoreticky se dá za použití 4 antén a kanálu širokého 40 MHz dosáhnout rychlosti 600 Mbit/s. Této rychlosti je však reálné dosáhnout pouze v místech, kde nedochází k rušení od ostatních přístrojů. V reálném prostředí se používá šířka kanálu 20 MHz, která je na rušení méně náchylná. Standard operuje na frekvencích 2,4 a 5 GHz.

4.1.4 Zabezpečení Wi-Fi sítí

Oproti tradičním kabelovým sítím se vyznačuje technologie bezdrátového připojení mnohem větší volností uživatelů v přístupu k samotné síti. To je vykoupeno většími bezpečnostními riziky. Z tohoto důvodu vzniklo postupem času několik metod zabezpečení těchto sítí.

4.1.4.1 Zabezpečení pomocí WEP

Nejstarší typ zabezpečení nese označení WEP (Wired Equivalent Privacy). Jedná se o šifrovací algoritmus, který byl součástí standardu 802.11b z roku 1999.

Algoritmus využívá algoritmu RC4, který generuje pseudonáhodný proud bajtů. Tím je pomocí operace XOR šifrován čistý text. Dešifrování pak probíhá inverzní operací.

Vzhledem k objevení spousty bezpečnostních nedostatků byl tento algoritmus nahrazen nástupci WPA a později WPA2. Navzdory chybám, které algoritmus obsahuje, poskytuje i v dnešní době minimální zabezpečení sítě.

4.1.4.2 Zabezpečení pomocí WPA

Zabezpečení typu WPA bylo jen dočasným řešením pro nahrazení méně bezpečného zabezpečení WEP. Již při jeho uvedení bylo počítáno s jeho nástupcem WPA2.

Součástí této metody zabezpečení byl protokol TKIP (Temporal Key Integrity Protocol). Tento protokol využíval stejného algoritmu jako WEP, tedy RC4. Obsahoval však některé důležité modifikace. Během komunikace se pro každý bajt klíč dynamicky mění. Je také využíván delší inicializační vektor (48 bit).

4.1.4.3 Zabezpečení pomocí WPA2

Přestože zabezpečení typu WPA nebylo nikdy prolomeno, v roce 2004 bylo zavedeno standardem IEEE 802.11i zabezpečení typu WPA2. To již nepoužívá algoritmus RC4 jako jeho předchůdci. Využívá algoritmus CCMP (Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol), který je založen na šifrování AES. Šifrování AES je symetrická bloková šifra využívající klíč o délce 128, 192 nebo 256 bitů. Tato metoda zabezpečení je v současné době považována za zcela bezpečnou. Od roku 2006 jsou všechna nová zařízení žádající o certifikaci Wi-Fi povinna tuto metodu zabezpečení podporovat. [3]

5 SÉRIOVÉ ROZHRAŇÍ UART

Ke spojení s řídící jednotkou ohříváče vody je k dispozici sériové rozhraní UART. Komunikace probíhá prostřednictvím třívodičového vedení s napěťovou úrovní 3 V. Rozhraní se skládá z vodiče Rx (přijem dat), vodiče Tx (vysílání dat) a vodiče GND (reference).

UART pracuje do vzdálenosti přibližně 1 m a rychlost přenosu je 2,4 až 115,2 Kb/s. Ohříváč vody využívá toto rozhraní v režimu IR a používá pulzní modulaci 3/16 délky doby trvání jednoho bitu. Pulzní modulace se používá z důvodu úspory energie při přenosu.

Stanovená délka znaku je 8 bitů, bez parity. Použitá je rychlost 2400 baud/s. Ukončující rámec je definován jako 30 ms ticha.

Komunikace probíhá prostřednictvím protokolu Modbus. Protokol Modbus je komunikační protokol sedmé vrstvy OSI modelu, poskytující komunikaci typu klient/server mezi zařízeními připojenými na různých sítích a sběrnicích. Vyznačuje se velmi jednoduchou strukturou, což přispívá k jeho stále rostoucí oblibě. Modbus je protokol typu požadavek - odpověď a jeho funkce jsou označeny funkčními kódy. Protokol Modbus podporuje dva vysílací režimy – Modbus RTU a Modbus ASCII. V našem případě je použit režim RTU.

Při režimu RTU je každý osmibitový bajt zprávy tvořen dvěma čtyřbitovými hexadecimálními znaky. Mezery mezi znaky mohou být maximálně 1,5 znaku dlouhé. Začátek a konec zprávy je pak určen odmlčením na sběrnici po dobu delší než 3,5 znaku.

Oproti tomu v režimu ASCII je každý bajt odesílán jako dva ASCII znaky. Rozdíl mezi oběma režimy je tedy menší rychlost ASCII režimu. Může ale odesílat znaky s mezerami většími než 1 s. Začátek zprávy je reprezentován znakem „:“ a konec dvojicí řídicích znaků.

V aplikační vrstvě je zaveden jeden adresový prostor a jen jeden datový typ Word (16 bitů). Maximální délka Modbus rámce je v naší aplikaci omezena na 26 bytů. Z toho vyplývá, že jedním požadavkem může být čteno nebo zapsáno nejvýše 12 registrů.

Jako nejvyšší vrstva je implementována vrstva VWCOM (Vesta-WHAM Communication). Tato vrstva definuje význam jednotlivých adres v adresovém prostoru Modbus. Prostor adres je rozdělen do šesti segmentů po 256 bytech.

Tab. 2 – Rozdělení adres v adresovém prostoru Modbus

Počáteční adresa	Název	Obsah adresy
0	VWCOM_RO	Provozní stav ohřívače vody (pouze ke čtení)
256	VWCOM_WO	Konfigurace ohřívače vody (pouze pro zápis)
512	VWCOM_RW	Kalibrační údaje (ke čtení i zápisu)
768	VWCOM_CO	Tovární konfigurace (pouze ke čtení)
1024	VWCOM_INFO	Historie provozu a chyb (pouze ke čtení)
1280	VWCOM_LDO	Data speciálního LDO alg. (pouze ke čtení)

Tab. 3 – Adresy prvního segmentu adresového prostoru Modbus

Adresa	Název registru	Obsah adresy
0+0	TEMP_W_RAW_U	Napětí na U-senzoru 12bit
0+1	TEMP_W_RAW_L	Napětí na L-senzoru 12bit
0+2	TEMP_W	Teplota vody [0.1°F]
0+3	TEMP_W_EST	Kompenzovaná teplota vody [0.1°F]
0+4	TEMP_A	Teplota prostředí [0.1°F]
0+5	SP_LOC	Lokální nastavená teplota [0.1°F]
0+6	HEAT_RQ	Požadavek na ohřev: (0x0000-vypnut; 0x001F-zapnut, hlavní ventil uzavřen; 0x1F1F-zapnut, hlavní ventil otevřen)
0+7	FAULT_RAM	Aktuální chybový stav, 0 = žádný
0+8	PWM_DCDC	DCDC PWM hodnota
0+9	V_TP	Napětí ventilu zapalovacího hořáku v (16/9) mV
0+10	SP_ACT	Skutečná aktuální teplota používaná v řízení teploty [°F]
0+11	DIFF_ACT	Skutečná difference teploty používaná v řízení teploty [°F]
0+12	SP_USR	Uživatelsky nastavená teplota v 0.1°F
0+13	DIFF_USR	Uživatelsky nastavená difference v 0.1°F

V rámci navrhovaného prototypu jsou vyčítány pouze data z prvního segmentu, tj. adres 0 až 255. Rozdělení adres v tomto segmentu je uvedeno v Tab. 3. Konkrétně se jedná o hodnoty teploty vody (adresa 2), skutečná aktuální teplota používaná pro řízení (adresa 10), požadavek na ohřev (adresa 6) a aktuální chybový stav (adresa 7). Úkolem gatewaye je tato data v pravidelných intervalech vyčítat a přeposílat ve formě logu na vzdálený server.

Rámec odesílaný přes rozhraní jako požadavek na vyčtení hodnoty se skládá z adresy zařízení slavy (definována jako 127), funkční kód (03 – čtení registru) a dat. V našem případě jsou data adresou v prvním segmentu paměťového prostoru. Rámec je zakončen kontrolním součtem CRC. Celý rámec požadavku je znázorněn na Obr. 5.

Celá komunikace probíhá na základě principu požadavek – odpověď. Mikrokontrolér, který je součástí gatewaye, vyšle požadavek na data řídicí jednotce ohřívače vody a ta mu odešle odpověď ve formě žádaných dat.

0xF7	0x03	0x00_low	0x02_high	0x00_low	0x01_high	[CRC_low]	[CRC_high]
Vesta adresa	Funkční kód	Adresa 1. registru		Počet vyčítaných registrů		CRC	

Obr. 5 – Skladba Modbus rámce pro vyčtení z registru

Odpověď od řídicí jednotky ohřívače vody má následující skladbu. Nejprve je opět udána adresa slavy zařízení a funkční kód. Poté je zapsán počet následujících bajtů obsahujících odpověď a ukončen je dvěma bajty CRC kontrolního součtu. [1]

0xF7	0x03	0x01	0xFF_low	0xFF_high	...	[CRC_low]	[CRC_high]
Vesta adresa	Funkční kód	Počet bajtů	Hodnota 1. registru		...	CRC	

Obr. 6 – Skladba Modbus rámce odpovědi od řídicí jednotky ohřívače

6 KOMUNIKACE MEZI GATEWAY A VZDÁLENÝM SERVEREM

Pro komunikaci mezi navrhovanou gatewaye a vzdáleným serverem společnosti Honeywell je použit TCP protokol.

Protokol TCP je spojovou službou. To znamená, že v průběhu komunikace je vytvořeno spojení, virtuální okruh. Přenášená zpráva je rozdělena na sekvence bajtů. Po přijetí sekvence potvrzuje protistrana pomocí tzv. sekvenčního čísla, že je připravena přijmout bajt s pořadovým číslem N, což znamená, že již správně přijala N-1 bajtů zprávy.

Oba konce spojení jsou určeny tzv. portem. Jedná se o dvoubajtové číslo (0 až 65 535). Vzdálený konec spojení je jednoznačně určen IP adresou a číslem portu. IP adresa slouží k doručení zprávy na konkrétní počítač. Cílová aplikace je pak určena číslem portu.

V našem případě je cíl dán překladem DNS jména enviralink.com (A-záznam). Číslo cílového portu je 2347. Spojení má být nešifrované, bez autorizace.

Na aplikační vrstvě probíhá komunikace na základě dvojic požadavek - odpověď. Jednotlivé odesílané, resp. přijímané zprávy jsou uvedeny v Tab. 4.

Tab. 4 – Komunikace mezi gateway a vzdáleným serverem.

Identifikátor zprávy	Název zprávy	Poznámka	Odesílatel
0x01	CONNECT_QUERY	Požadavek na připojení	Gateway
0x11	CONNECT_RESPONSE	Odpověď na připojení	Server
0x03	TIME_QUERY	Požadavek na časové informace	Gateway
0x13	TIME_RESPONSE	Odpověď na požadavek časových informací	Server
0x0B	DATA_UPLOAD	Odeslání dat	Gateway
0x1B	DATA_RESPONSE	Odpověď na odeslání dat	Server
0x0D	DISCONNECT_QUERY	Požadavek na odpojení	Gateway
0x1D	DISCONNECT_RESPONSE	Odpověď na požadavek odpojení	Server

Každá ze zpráv obsahuje jednotnou hlavičku o velikosti dvanáct bajtů. Její struktura je uvedena v Tab. 5. V prvních dvou bajtech odesílané zprávy je uvedena její délka. Následuje verze protokolu a druh zprávy. Poté je odesíláno šest bajtů MAC adresy zařízení. Jedná se o analogii fyzické MAC adresy u síťových zařízení. Tímto jedinečným identifikátorem se rozlišují požadavky a data od různých gateway. Nakonec následuje potvrzení zprávy a dvanáctý bajt je rezervován.

Tab. 5 – Struktura hlavičky zprávy aplikační vrstvy

Offset	Obsah bajtu	Poznámka
0x00	Velikost zprávy – vyšší bajt	
0x01	Velikost zprávy – nižší bajt	
0x02	Verze protokolu	
0x03	Druh zprávy	Identifikátor zprávy
0x04	MAC[0]	Identifikace gateway (fyzická adresa)
0x05	MAC[1]	
0x06	MAC[2]	
0x07	MAC[3]	
0x08	MAC[4]	
0x09	MAC[5]	
0x0A	Potvrzení	
0x0B	Rezervováno	

Po této jednotné hlavičce následuje konkrétní zpráva. Požadavek Connection Query obsahuje typ spojení a dva bajty s informací o verzi firmware gatewaye. Poslední bajt je rezervován.

Tab. 6 – Struktura zprávy Connection Query

Offset	Obsah bajtu	Poznámka
0x0C	Typ spojení	0x01 broadband, 0x02 dial-up
0x0D	Firmware - major	
0x0E	Firmware - minor	
0x0F	Rezervováno	

Odpověď od serveru pak obsahuje dva bajty informace o revizi firmware na serveru a dva rezervované bajty.

Tab. 7 – Struktura odpovědi Connection Response

Offset	Obsah bajtu	Poznámka
0x0C	Firmware serveru - major	
0x0D	Firmware serveru - minor	
0x0E	Rezervováno	
0x0F	Rezervováno	

Po přijetí odpovědi Connection response od serveru gateway odesílá zprávu Time Query. Ta obsahuje časovou značku a tři bajty informace o nastavení vnitřních hodin gatewaye.

Tab. 8 – Struktura požadavku Time Query

Offset	Obsah bajtu	Poznámka
0x0C	Firmware serveru - major	
0x0D	Firmware serveru - minor	
0x0E	Rezervováno	
0x0F	Rezervováno	

Následně je přijata odpověď serveru Time Response. Ta obsahuje celkem 243 bajtů, v nichž je obsaženo nejprve potvrzení a aktuální čas serveru, časové pásmo. Dále informace o licenci gatewaye. Přijímají se informace o limitních hodnotách teplot, údaje pro vytáčené spojení a pro připojení k FTP serveru a hodnoty vzdáleného nastavení teploty.

Tab. 9 – Struktura zprávy Data Upload

Offset	Obsah bajtu	Poznámka
0x0C	Rezervováno	
0x0D	Rezervováno	
0x0E	Rezervováno	
0x0F	Rezervováno	
0x10 ...	Záznamy dat	
... 0x400		

Po obdržení odpovědi Time Response gateway odesílá zprávu Data Upload. Struktura této zprávy je uvedena v Tab. 9. Nejprve jsou zde čtyři bajty rezervovány, pak následují datové záznamy. Struktura datového záznamu je pak zobrazena v Tab. 10.

Tab. 10 – Struktura datového záznamu

Offset	Obsah bajtu	Poznámka
0	Datum a čas	Počet sekund od 1. 1. 1970
4	Kanál a třída zprávy	2 b – kanál, 14 b – třída zprávy
6	Instance	
7	Služba a počet bajtů dat	2 b – služba, 6 b – počet datových bajtů
8	Data bajt 0	
...	...	
7 + délka	Data bajt (délka – 1)	
...	Doplněk	Doplnění na počet datových bajtů na násobek čtyř (32 b úložiště)

Po odeslání dat je přijata zpráva Data Response a následně požadavek na odpojení Disconnect Query a potvrzení odpojení Disconnect Response. Tyto zprávy obsahují vždy hlavičku a 4 rezervované bajty. [1][4]

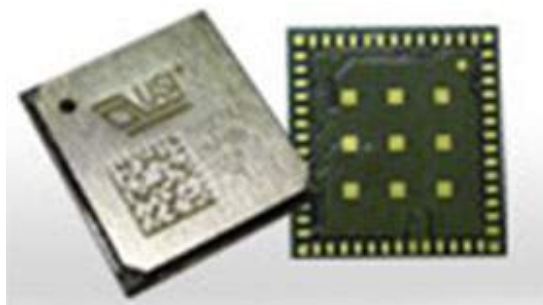
7 WI-FI MODULY DOSTUPNÉ NA TRHU

Po průzkumu nabídky současného trhu jsme dospěli k několika variantám řešení. Tyto produkty a jejich základní parametry jsou popsány v této kapitole.

7.1 WM-N-BM-09 (USI)

Produkt od společnosti USI obsahuje Wi-Fi čip BCM43362 od Bradkou a patří do skupiny zařízení WICED (Wireless Internet Connectivity for Embedded Devices), která usnadňuje implementaci Wi-Fi konektivity do zařízení.

Modul podporuje standard 802.11b/g a n. Také disponuje funkcí Wi-Fi Direct. K dispozici jsou jednoduché API pro přístup k Wi-Fi a síťovým funkcím. Pro propojení s aplikačním procesorem slouží spojení SPI, UART nebo USB. Zařízení obsahuje plný TCP/IP stack. Jako aplikační procesor je přítomen procesor STM32 ARM Cortex-M3. Produkt je certifikován certifikátem FCC. [5]



Obr. 7 - WM-N-BM-09 [5]

7.2 Type VK – Wi-Fi module (muRata)

Toto zařízení je vybaveno Wi-Fi čipem CC3000 firmy Texas Instruments. Podporuje IEEE standard 802.11b/g. K aplikačnímu procesoru se připojuje pomocí sériového rozhraní SPI. Cena této varianty vychází na \$13 za kus. Zařízení má integrováno TCP/IP stack. Certifikován je certifikátem FCC a IC.

K zařízení je třeba ještě připojit některý z low-cost procesorů, který není součástí. [6]

7.3 SN8200 (muRata)

Modul SN8200 od společnosti muRata obsahuje Wi-Fi čip BCM43362 od Broadcomu. Podporuje standard IEEE 802.11b/g a n. K aplikačnímu procesoru se dá připojit pomocí sériového rozhraní UART, SPI. Obsahuje také konektor UFL RF pro připojení externí antény a také interní anténu. Disponuje plným TCP/IP stackem. Zařízení zvládá Wi-Fi v módu přístupového bodu i klienta. Je vlastníkem certifikátu FCC.

Produkt v sobě obsahuje také procesor STM32 ARM Cortex-M3.



Obr. 8 - muRata SN8200 [7]

Toto řešení má obdobnou charakteristiku jako varianta od USI. Cena tohoto produktu je cca \$32. [7]

7.4 MRF24WG0MA (Microchip)

Další možností je výrobek společnosti Microchip MRF24WG0MA. Zařízení podporuje IEEE standard 802.11b/g. Disponuje funkcí Wi-Fi Direct. Modul obsahuje plný TCP/IP stack. K aplikačnímu procesoru se připojuje pomocí sériového rozhraní UART, SPI. Disponuje integrovanou anténou. Vlastní certifikáty FCC, IC a ETSI.

Produkt nemá v sobě obsažen procesor. Je určen k připojení PIC mikrokontrolérů téže společnosti. Cena tohoto produktu je \$22. [8]



Obr. 9 - Microchip MRF24WG0MA [8]

7.5 RN131 (Microchip)

Microchip RN131 je Wi-Fi modul podporující standard 802.11b/g. Pro připojení k aplikačnímu procesoru lze využít UART, SPI. Produkt obsahuje plný TCP/IP stack a anténa je přítomna interní nebo lze připojit externí anténu pomocí konektoru UFL RF. Výrobek vlastní certifikáty FCC, IC a odpovídá certifikátu RoHS. [9]



Obr. 10 - Microchip RN-131 [9]

7.6 RTX4100 (RTX)

RTX4100 je řada Wi-Fi modulů od společnosti RTX. Modul podporuje standard 802.11b/g a n a obsahuje plný TCP/IP stack. Disponuje jak interní anténou, tak také konektorem UFL RF pro připojení antény externí. K aplikačnímu procesoru se připojuje

pomocí sériového rozhraní UART. Splňuje certifikáty FCC, IC a ETSI. Cena tohoto řešení je necelých \$30. [10]



Obr. 11 - RTX 4100 [10]

7.7 CC3100 (Texas Instruments)

Jednotka CC3100 je prozatím v předprodejní fázi a k dispozici jsou jen vývojové kity. Základem je Wi-Fi procesor, který zvládá standardy 802.11b/g a n. Zvládá práci v módech klient, přístupový bod a Wi-Fi Direct. Obsahuje plný TCP/IP stack ve verzích IPv4 i 6. Součástí jednotky je procesor ARM Cortex™-M3.

Jednotka bude v konečné verzi ve třech variantách. V první variantě se jedná jen o samotný Wi-Fi procesor. Druhá varianta obsahuje také aplikační procesor ARM Cortex M4. Jednotka však neobsahuje paměť pro aplikaci, proto je nutné připojit ještě externí paměť. Třetí varianta pak obsahuje i integrovanou flash paměť pro aplikace o velikosti až 256 KB.

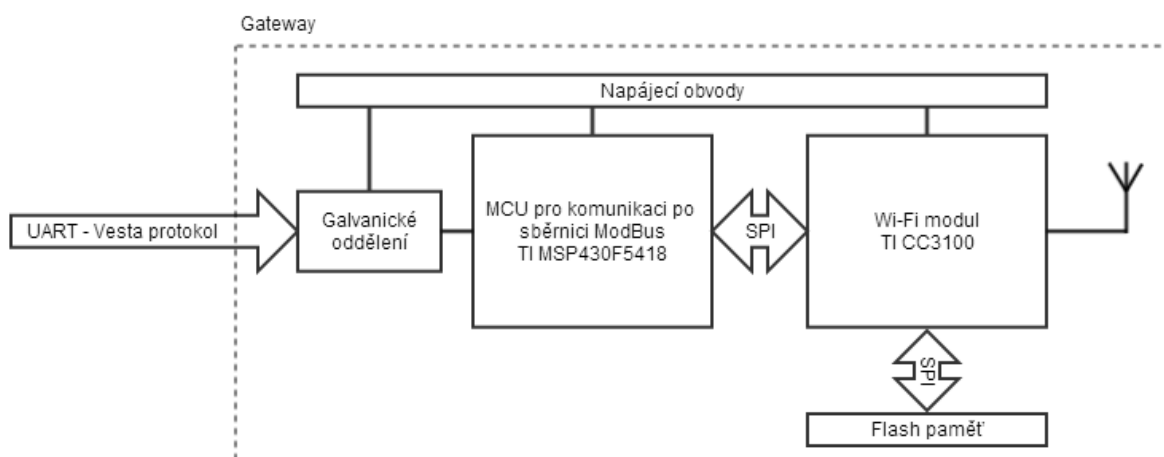
Podle dostupných informací bude cena tohoto řešení nižší než \$10. [11]

Souhrn vlastností všech zvažovaných řešení je uveden v tabulce v příloze práce.

8 OBVODOVÉ ŘEŠENÍ

Jak už bylo zmíněno výše, jako mikrokontrolér pro komunikaci po sběrnici Modbus byl na základě požadavku společnosti Honeywell vybrán mikrokontrolér MSP430F5418 společnosti Texas Instruments. Tedy stejný mikrokontrolér, jaký je použit v již zmíněném nástroji Vesta Serial Adapter a současném prototypu.

K tomuto mikrokontroléru byl na základě průzkumu trhu a zvážení jednotlivých možností vzhledem k požadavkům, vybrán Wi-Fi modul CC3100 od společnosti Texas Instruments. Všechny zvažované možnosti řešení disponovali obdobnými specifikacemi, vybraný produkt má však výrazně nižší cenu a i díky tomu je preferován také společností Honeywell. Velkou roli při výběru hrál také stejný výrobce mikrokontroléru pro komunikaci po sběrnici Modbus a Wi-Fi modulu. Tato kombinace zaručuje plnou kompatibilitu a také podporu společnosti Texas Instruments.



Obr. 12 - Blokové schéma gateway

Blokové schéma celé gateway je zobrazeno na Obr. 12. Základními prvky gatewaye jsou tedy modul CC3100, který obstarává funkce spojené s bezdrátovým rozhraním Wi-Fi a mikrokontrolér MSP430F5418, který slouží jako mikrokontrolér pro komunikaci po sběrnici Modbus.

Jelikož byl v době vypracovávání této práce Wi-Fi modul CC3100 v předprodejní fázi, měli jsme k dispozici pouze jeho vývojový kit, řešený jako modul. Výsledkem HW návrhu této práce je tedy gateway, která využívá tohoto modulárního řešení. Na samotné DPS gatewaye není osazen přímo mikrokontrolér CC3100, k desce gatewaye je připojen celý vývojový kit pomocí dvou dvacetipinových konektorů.

8.1 Mikrokontrolér pro komunikaci po sběrnici Modbus

Jako mikrokontrolér pro komunikaci po sběrnici Modbus je v návrhu použito mikrokontrolér společnosti Texas Instruments MSP430F5418. Jedná se o MCU s velmi malým odběrem proudu, napájený napětím 3,3 V DC. Mikrokontrolér má za úkol přijímat z řídicí jednotky ohřívače vody data prostřednictvím sériového rozhraní UART a pomocí Wi-Fi modulu CC3100 tato data přeposílat do sítě internet prostřednictvím Wi-Fi.

Mikrokontrolér MSP430F5418 obsahuje tři 16 bitové časovače a 12 bitový převodník. Podporuje až 4 univerzální sériová komunikační rozhraní, obsahuje hardwarovou násobičku, DMA, hodiny reálného času a 67 vstupů/výstupů. Disponuje 128 KB flash paměti a 16 KB SRAM.

Programování mikrokontroléru provádíme pomocí rozhraní Spy-Bi-Wire. Toto rozhraní má oproti standardnímu rozhraní JTAG výhodu využití pouze dvou vodičů. [12][13]

Tab. 11 - Popis vodičů rozhraní Spy-Bi-Wire

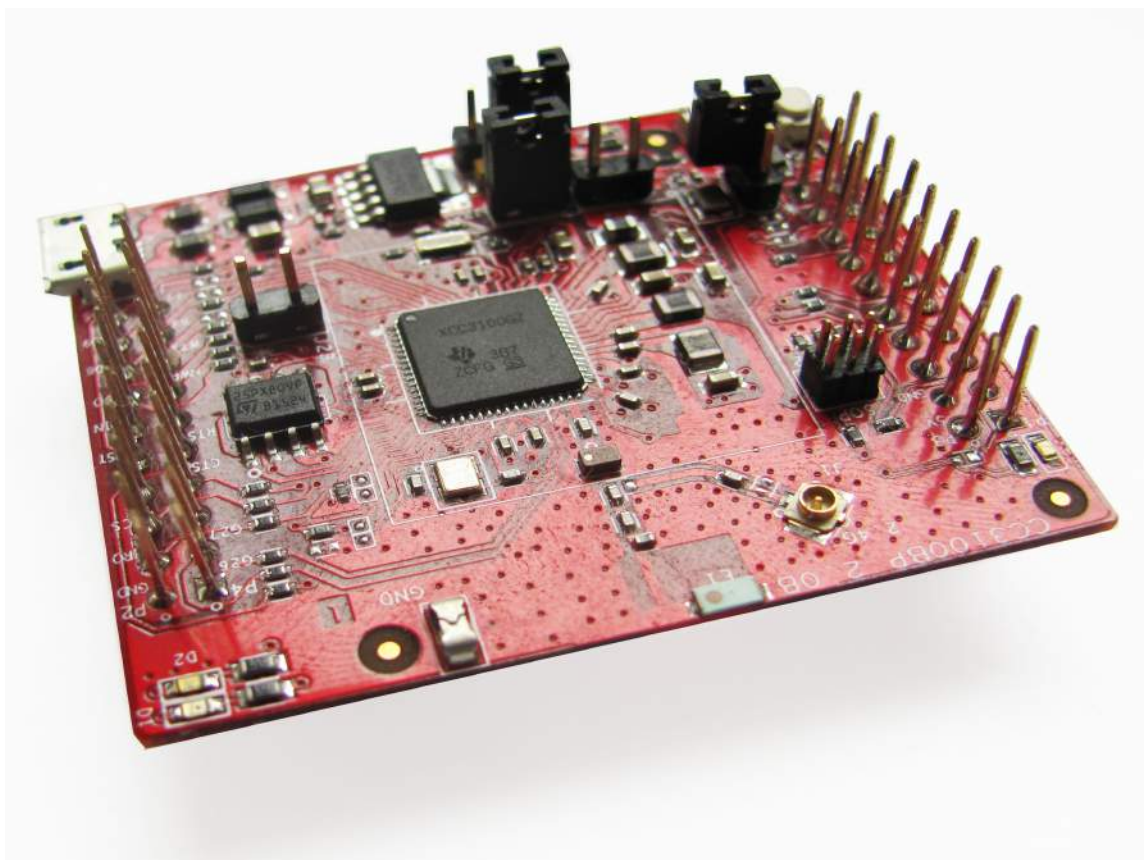
Signál	Směr	Funkce
TEST/SBWTCK	vstup	hodiny Spy-Bi-Wire
RST/NMI/SBWDIO	vstup, výstup	Spy-Bi-Wire data input/output
VCC		napájení 3,3V
VSS		země (GND)

8.2 Wi-Fi modul Texas Instruments CC3100

Vzhledem ke skutečnosti, že Wi-Fi modul CC3100 byl v době vypracovávání této diplomové práce pouze v předprodejní fázi, pracovali jsme s vývojovým kitem dodaným společností Texas Instruments obsahujícím nezbytné periferie pro chod zařízení.

Jádrem vývojového kitu je integrovaný obvod CC3100. Kromě něj je zde také sériové flash paměť, ve které je uložen firmware zařízení a síťová konfigurace. Dále je součástí také Wi-Fi anténa a konektor pro připojení antény externí. K hostujícímu mikrokontroléru se vývojový kit připojuje pomocí dvou dvacetipinových hřebínkových konektorů.

Wi-Fi modul CC3100 je určen pro snadnou implementaci funkce bezdrátového připojení Wi-Fi pro různorodé aplikace. Jedná se o zařízení s nízkou cenou a také se vyznačuje velmi nízkými odběry proudu.



Obr. 13 – Vývojový kit Texas Instruments CC3100

Zařízení podporuje standard Wi-Fi 802.11b/g/n. Podporuje všechny běžné druhy zabezpečení jak ve variantě osobní, tak podnikové. Modul disponuje technologií Smart Config, díky které se zařízení dokáže připojit k Wi-Fi síti pomocí jediného kroku.

Zařízení má implementován IPv4 stack s BSD API. Stack podporuje síťové protokoly ARP, ICMP, DHCP a funkci DNS klient, což umožňuje snadné připojení do místní sítě a internetu.

Wi-Fi modul CC3100 je řešení pro bezdrátovou síť určené k použití v embedded systémech s velmi velkým rozsahem napájecího napětí. Celkem podporuje tři módy napájení. Prvním z nich je napájení prostřednictvím baterie. Napětí baterie může být v rozsahu 2,3 V – 3,6 V. Napětí potřebná pro chod jsou generována interně prostřednictvím napěťových převodníků. Další možností je připojení modulu na

regulované napětí 3,3 V. Poslední možností je připojení zařízení na regulované napětí 1,8 V.

Zařízení disponuje dvěma módy pro nízký odběr proudu. Prvním z nich je Low-Power Deep Sleep (LPDS). Do tohoto stavu se dostává při delší neaktivitě hostujícího mikrokontroléru. Zařízení se pak může uvést do chodu do 10 ms prostřednictvím vnější události z interního časovače a z SPI. Důležité je, že přechody do tohoto stavu jsou pro hostující mikrokontrolér zcela transparentní, tzn. nijak je nezaznamená a není třeba žádného obnovení komunikace.

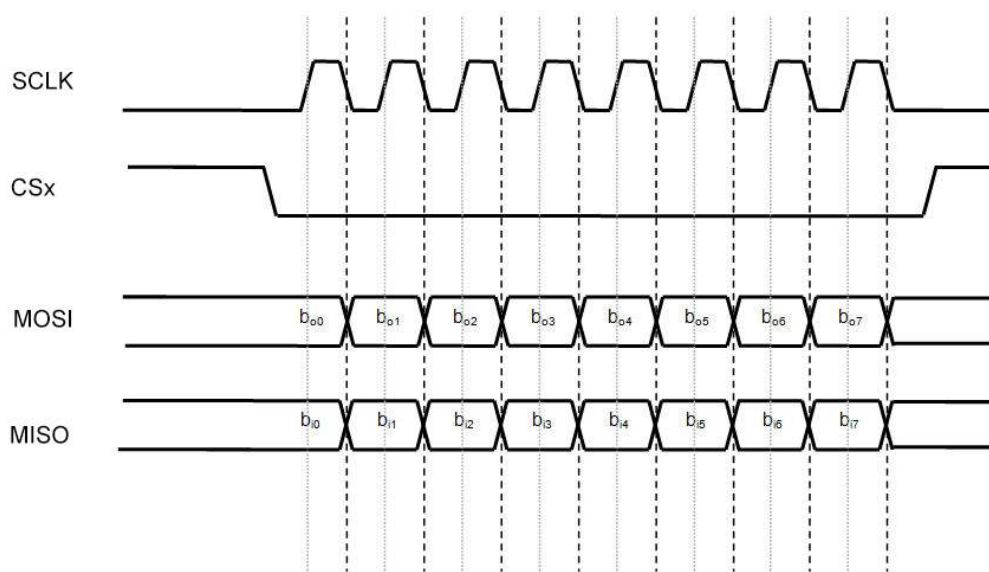
Druhým šetřícím módem je stav hibernace. Při tomto stavu je veškerá logika modulu odpojena, kromě nutně potřebných obvodů. V zařízení běží hodiny reálného času a probuzení probíhá na základě vypršení časovače reálného času nebo na základě externí události. Čas potřebný pro probuzení je delší než u Low-Power Deep Sleep módu, a to asi 60 ms.

Odběry proudu zařízením jsou relativně malé. Dle dokumentace výrobce se při odesílání dat přes standard 802.11g jedná typicky o 200 mA. Při příjmu pak 53 mA. Při módu LPDS zařízení vyžaduje 100 μ A, při hibernaci pak 4 μ A. [9]

8.2.1 Spojení Wi-Fi modulu s mikrokontrolérem MSP430F5418

Mikrokontrolér MSP430F5418, zajišťující komunikaci po sběrnici Modbus, je s Wi-Fi modulem CC3100 spojen pomocí sériového rozhraní SPI. Komunikace SPI je typu master-slave a probíhá přes 4 vodiče. Hodinový signál SCLK je posílán masterem po sběrnici ke všem slave zařízením. Všechny signály sběrnice jsou synchronní s tímto signálem. Signál Chip Select (CS) je signál, kterým master vybírá, s kterým zařízením bude komunikovat. Dalšíma dvěma signály jsou signály MOSI (Master Out – Slave In) a MISO (Master In – Slave Out), což jsou datové signály od zařízení master do zařízení slave (MOSI) resp. od zařízení slave k zařízení master (MISO).

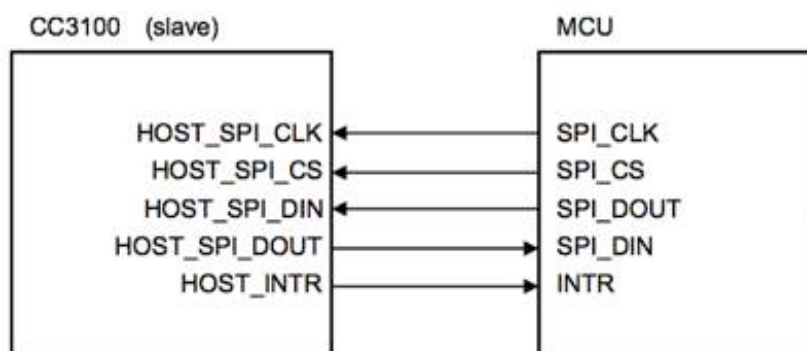
SPI je komunikační protokol typu single-master, tedy s jedním masterem na sběrnici. To znamená, že komunikaci iniciuje jedno centrální zařízení. Jakmile master zařízení potřebuje odeslat data některému ze slave zařízení nebo z něj data vyčíst, musí příslušné zařízení vybrat daným CS signálem (aktivní v 0) a aktivovat hodinový signál na sběrnici. Master posílá na vodič MOSI příslušná data a z vodiče MISO vzorkuje v příslušných časech data přijímaná.



Obr. 14 - Příklad SPI komunikace

Protokol SPI nedefinuje maximální datovou propustnost, adresování zařízení, neobsahuje žádný mechanismus potvrzování příjmu. Master při implementaci základního protokolu neví, zda je nějaký slave na sběrnici připojen. Protokol SPI také nedefinuje napěťové úrovně signálu ani fyzickou vrstvu sběrnice. Z těchto důvodů existuje velmi mnoho variant implementace tohoto protokolu.

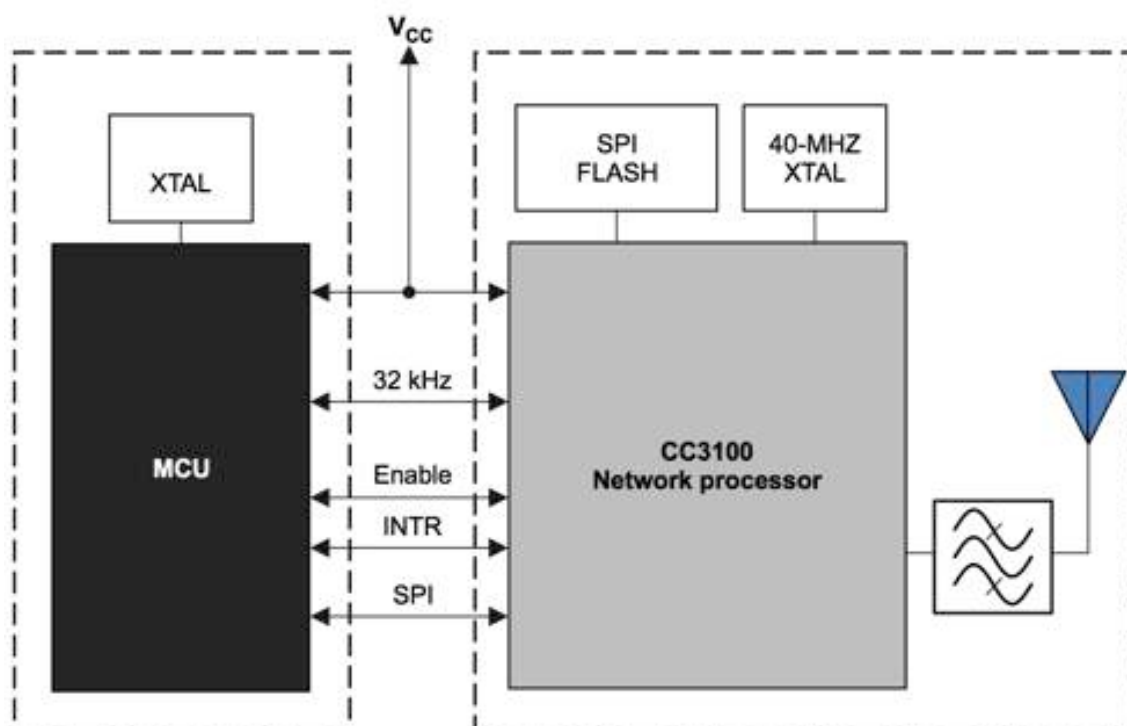
V našem případě je s mikrokontrolérem pro komunikaci po sběrnici Modbus Wi-Fi modul CC3100 propojen pomocí čtyřvodičového sériového rozhraní SPI. Navíc je spojen také signály IRQ a nHib. Signál IRQ slouží k vyvolání přerušování od MCU a signál nHib slouží k uvedení CC3100 do stavu hibernace resp. k jeho probuzení. Ve stavu hibernace má CC3100 velmi nízký odběr proudu, udáváno je méně než 4 μ A.



Obr. 15- Blokové schéma spojení s MCU pro komunikaci po sběrnici Modbus

Tab. 12 - Seznam signálových vodičů SPI k MCU pro komunikaci po sběrnici Modbus

Název pinu	Popis
HOST_SPI_CLK	Hodiny z MCU do CC3100
HOST_SPI_CS	Chip Select (aktivní v 0) z MCU do CC3100
HOST_SPI_DIN	Data z říd. MCU do CC3100
HOST_SPI_DOUT	Data z CC3100 do MCU
HOST_INTR	Přerušení z CC3100 do MCU



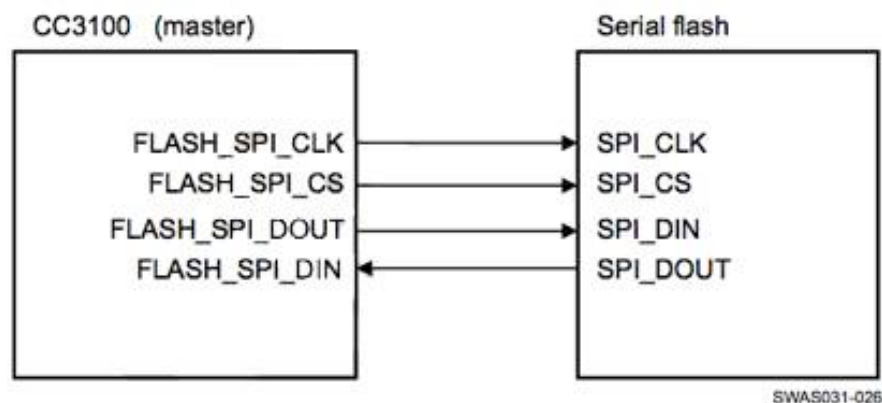
Obr. 16- Blokové schéma připojení CC3100 k MCU pro komunikaci po sběrnici Modbus

Na DPS je připojení celého vývojového kitu řešeno pomocí dvou dvaceti pinových konektorů. Rozložení jednotlivých signálů je uvedeno v **Error! Reference source not found.** a **Error! Reference source not found.**, v příloze této práce [9][10]

8.2.2 Spojení s pamětí flash

Ke správnému chodu potřebuje CC3100 připojenou 2Mb sériovou flash paměť, ve které je uložena síťová konfigurace a firmware čipu. V tomto případě je také využito

sériové rozhraní SPI. Při této komunikaci je CC3100 v roli master. Flash paměť je implementována přímo na vývojovém kitu, se kterým pracujeme. [9]



Obr. 17 - Blokové schéma připojení flash paměti

Tab. 13 - Seznam signálových vodičů SPI k sériové flash paměti

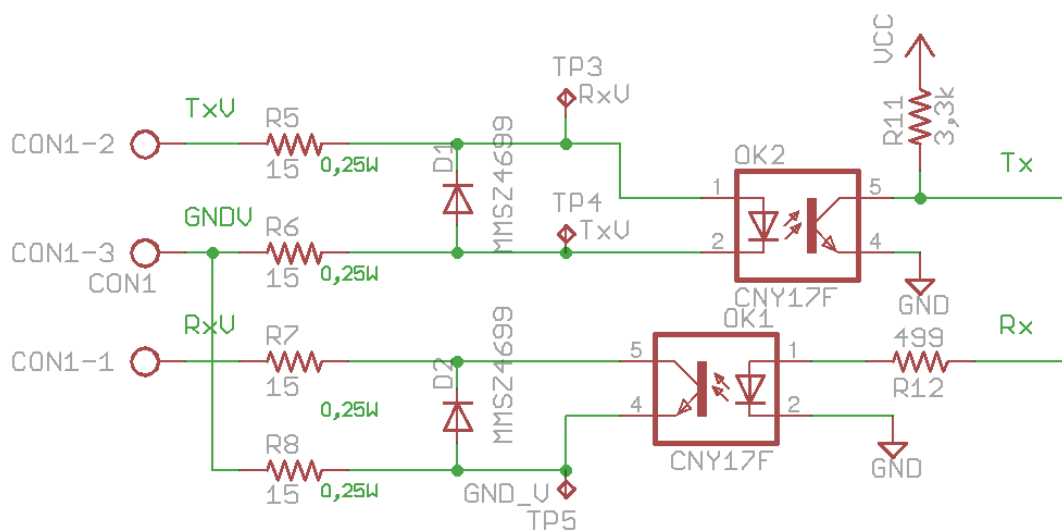
Název pinu	Popis
FLASH_SPI_CLK	Hodiny z CC3100
FLASH_SPI_CS	Chip Select (aktivní v 0) z CC3100 k flash paměti
FLASH_SPI_DIN	Data z flash paměti do CC3100
FLASH_SPI_DOUT	Data z CC3100 do flash paměti

8.3 Galvanické oddělení rozhraní UART

Pro spojení gateway s řídicí jednotkou ohřívače je využito sériové rozhraní UART. Ke komunikaci jsou třeba tři vodiče – vysílací Tx, přijímací Rx a země GND.

Spojení je galvanicky odděleno pomocí optočlenů CNY17F. Jsou zde také zapojeny Zenerovy diody pro ochranu před elektrostatickými výboji.

Pro připojení UART je v našem případě využíváno USCI modulu UCA1 mikrokontroléru.

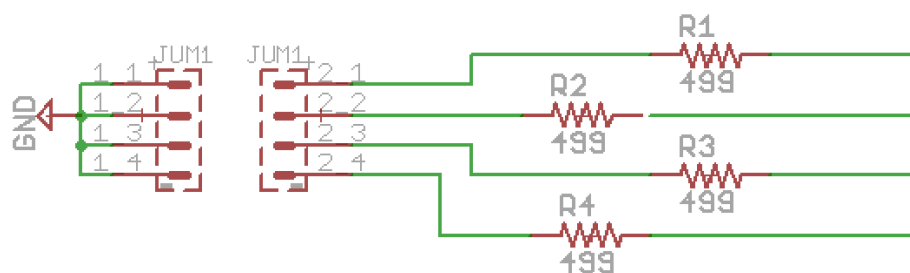


Obr. 18 - Připojení UART

8.4 Podpůrné obvody gatewaye

Jako generátor hodin pro mikrokontrolér MSP430F5418 byl vybrán rezonátor EFOS8004E5 o frekvenci 8 MHz. Jedná se o keramický rezonátor s vestavěnými kapacitami.

Na desce jsou také vyvedeny 4 vstupní piny mikrokontroléru MSP430F5418 přivedené na jumper JUM1. Druhá část jumperu JUM1 je spojena se zemí. Tyto jumpery jsou určeny pro použití jako hardwarové přepínače.



Obr. 19 - Jumperry sloužící jako hardwarové přepínače

Další součástí schématu je programovací konektor Spy-Bi-Wire. Ten obsahuje signály TEST, RST, zemi a napájení VCC. Slouží pro programování mikrokontroléru MSP430F5418.

Signály SPI komunikace mezi MSP430 a CC3100 jsou vyvedeny na konektor JUM2. Tento konektor slouží pro snadný přístup k signálům k účelu diagnostiky funkčnosti zařízení.

Na vstupech mikrokontroléru MSP430F5418, na které je přivedeno napájecí napětí VCC, jsou umístěny blokovací kondenzátory o kapacitě 0,1 μ F.

8.5 Napájecí obvody gatewaye

Pro napájení gatewaye máme k dispozici stejnosměrné napětí 5 V. Pro napájení gatewaye je třeba stejnosměrného napětí 3,3 V. Zdroj tohoto napětí je řešen pomocí zapojení nastavitelného lineárního stabilizátoru TS317. Maximální výstupní proud tohoto stabilizátoru je 0,5 A, což je pro naše potřeby plně dostačující. Výstupní napětí je nastaveno pomocí dvou rezistorů a je určeno vzorcem

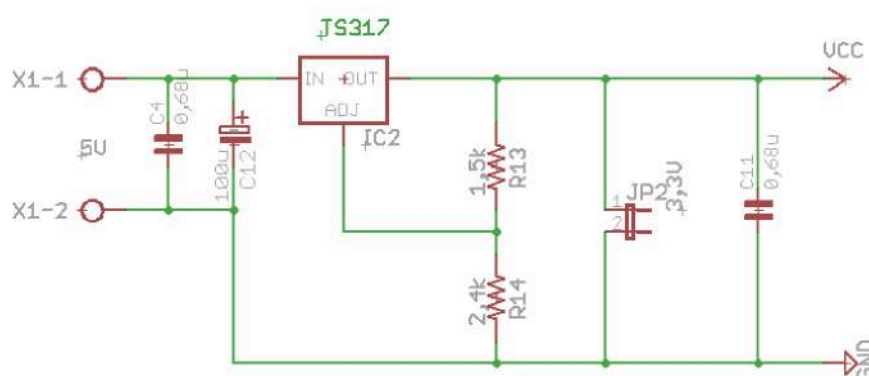
$$V_O = V_{REF}(1 + R_2/R_1) + I_{ADJ}R_2. \quad (1)$$

Proud I_{ADJ} můžeme dle datasheetu stabilizátoru za normálních podmínek považovat za nulový. Napětí $V_{REF} = 1,25$ V. Zvolíme-li $R_1 = 1,5$ k Ω a $R_2 = 2,4$ k Ω získáme po dosazení výstupní napětí $V_O = 3,25$ V. Tímto napětím je napájen jak mikrokontrolér MSP430F5418, tak Wi-Fi modul CC3100. [14]

Zařízení odebírá proud maximálně cca 300 mA. Z toho vyplývá ztrátový výkon na stabilizátoru napětí cca 0,5 W. Při takto velkém ztrátovém výkonu není třeba využívat chladiče.

Na vstupu stabilizátoru je umístěn elektrolytický kondenzátor C4, který slouží k udržení vyššího napětí na vstupu než na výstupu stabilizátoru při odpojení napájení.

Celkové schéma gatewaye je uvedeno v příloze práce.

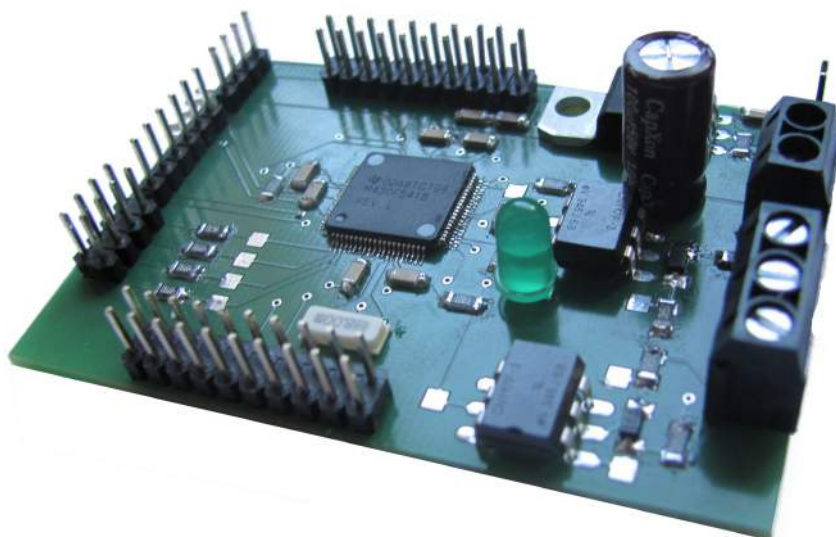


Obr. 20 - Napájecí obvod gatewaye

9 NÁVRH DPS A MECHANICKÁ KONSTRUKCE GATEWAYE

Deska plošných spojů byla navrhována s ohledem na požadavek připojení vývojového kitu Wi-Fi modulu CC3100 pomocí dvou dvacetipinových hřebíkových konektorů. Navrhovaná DPS dále obsahuje mikrokontrolér MSP430F5418 a jeho podpůrné obvody. Obsahuje také napájecí obvody a obvod galvanického oddělení vstupu signálů od řídicí jednotky ohřívače vody. Deska je řešena jako dvouvrstvá, prokovená. Tloušťka desky je 1,5 mm, síla měděné vrstvy je 18 μm . Rozměry DPS jsou 7 × 5 cm. Byly použity součástky v provedení SMD a rozložení součástek bylo řešeno s ohledem na optimálnost trasování jednotlivých cest. Návrh dodržuje základní požadavky, jako je izolační vzdálenost spojů či minimální tloušťka spojů. Pro vytvoření dokumentace a podkladů pro výrobu DPS byl použit návrhový program Eagle.

Síla cest napájení byla volena jako 0,508 mm, což odpovídá dovolenému proudovému zatížení 900 mA. Signálové cesty mají tloušťku 0,2 mm, což odpovídá proudovému zatížení 500 mA. Cesty jsou tedy naddimenzované a odpovídají požadavkům gatewaye.



Obr. 21 - Osazená DPS

10 SOFTWARE GATEWAYE

Společnost Honeywell má k dispozici operační systém, který byl vytvořen již v době vývoje prvního prototypu. Tento OS byl pro naši gateway převzat.

10.1 Software pro komunikaci s CC3100

Jak už bylo zmíněno v předchozích kapitolách, CC3100 využívá platformy SimpleLink, která se vyznačuje snadnou implementací komunikačního protokolu. Tato platforma minimalizuje softwarové nároky na hostující mikrokontrolér. CC3100 může být aplikován jako modul, čímž se redukuje čas vývoje a jeho náklady, šetří místo na DPS. Také usnadňuje certifikaci výsledného zařízení. Spolu se zařízením jsou také k dispozici ovladače a ukázkové aplikace.

SimpleLink je vývojový prostředek (SDK) firmy Texas Instrument, který je určen pro síťové protokoly Wi-Fi, 6LoWPAN, Bluetooth a ZigBee. Toto SDK je určeno pro mikrokontroléry komunikující s bezdrátovými moduly a systémy na čipu (SOC) s integrovanými MCU a radiovémi vysílači.

Zdrojové soubory, které jsou pro správnou funkčnost třeba, jsou obsaženy v SDK, dodávaném spolu s Wi-Fi modulem CC3100. Soubor `template_user.h` slouží jako šablona. Před použitím je nutné jej upravit dle potřeb aplikace.

Ovladač platformy SimpleLink podporuje dva různé paměťové modely. Pokud bychom se chtěli rozhodnout pro dynamický paměťový model, je třeba definovat funkce pro alokaci a uvolnění paměti. Dále se budeme zabývat modelem se statickou pamětí. Je také nutné nadefinovat obsluhu přerušení pro asynchronní události.

Dále je třeba upravit soubory `board.c` a `spi.c`. Soubor `board.c` obsahuje obsluhu přerušení od pinu IRQ CC3100, funkci na inicializaci hodin a další funkce související s deskou mikrokontroléru MSP430F5418.

Soubor `spi.c` obsahuje definici funkcí, které je třeba upravit dle konkrétního řešení připojení sériového rozhraní SPI CC3100 k mikrokontroléru MSP430F5418. Jedná se o funkce `CC3100_enable()`, `CC3100_disable()`, `spi_Open()`, `spi_Close()`, `spi_Write()` a `spi_Read()`.

Nyní si jednotlivé funkce krátce popíšeme.

10.1.1 Funkce pro ovládání hibernace

Funkce `CC3100_enable()` a `CC3100_disable()` ovládají signál `nHib`, který slouží pro probuzení z hibernačního režimu, resp. uvedení do hibernace. Tyto funkce mění hodnotu na výstupu pinu `P1.2`.

10.1.2 Funkce pro inicializaci rozhraní SPI

Pro inicializaci rozhraní SPI slouží funkce `spi_Open()`. Tato funkce obsahuje konfiguraci registrů pro správnou funkčnost rozhraní. Pro komunikaci je vybráno rozhraní `UCA1`, které využívá pinů `P5.6` a `P5.7` pro data, a pin `P3.6` pro hodinový signál.

Dále je zde také uvedena konfigurace pinu pro uvedení modulu `CC3100` do stavu hibernace (`P1.2`) a pin pro příjem signálu přerušení od Wi-Fi modulu. Nakonec je zde nakonfigurován pin `P1.4` pro funkci `Chip Select (CS)` a povoleno přerušení od `CC3100`.

Po vykonání této funkce je mikrokontrolér `MSP430F5418` připraven ke komunikaci s Wi-Fi modulem.

10.1.3 Funkce pro uzavření rozhraní SPI

Pro uzavření rozhraní je využívána funkce `spi_Close()`. Tato funkce zakazuje přerušení od Wi-Fi modulu `CC3100` a tím se komunikace stává neaktivní.

10.1.4 Funkce pro zápis na rozhraní SPI

Funkce pro zápis na rozhraní je nazvána `spi_Write()`. Nejprve je třeba aktivovat signál `CS` Wi-Fi modulu `CC3100` a poté je pomocí smyčky odeslán celý buffer, který je zadán jako parametr při volání funkce. Postupně jsou odesílány jednotlivé znaky zprávy, po každém odeslaném znaku se čeká na uvolnění bufferu a na přerušení od odeslání dat. Na konci funkce dochází k deaktivaci signálu `CS` a jako návratový parametr je vrácena délka odeslaných dat.

10.1.5 Funkce pro čtení z rozhraní SPI

Pro čtení z rozhraní slouží funkce `spi_Read()`. Ta pracuje obdobně jako funkce pro zápis. Nejprve je aktivován signál `CS`. Poté dochází k vyčítání dat z bufferu rozhraní do

bufferu uvedeného jako parametr funkce při jejím volání. Při této operaci jsou data přijímána opět po bajtech, po každém z nich se čeká na přerušení od přijetí dat rozhraní UCA1. Nakonec je deaktivován signál CS.

Jakmile jsou definovány výše zmíněné funkce, mikrokontrolér MSP430F5418 a Wi-Fi modul CC3100 jsou schopny mezi sebou komunikovat. Pro inicializaci modulu CC3100 je třeba zavolat funkci `sl_Start()`. Touto funkcí je ověřena funkčnost rozhraní a po vykonání funkce je zařízení připraveno k provozu.

K připojení Wi-Fi modulu k požadované síti slouží funkce `sl_WlanConnect()`. Jako parametr této funkce je zadán název SSID přístupového bodu, ke kterému se má zařízení připojit, a struktura obsahující informace o zabezpečení sítě, včetně klíče k přístupu do sítě v případě chráněné sítě. Po vykonání této funkce má zařízení přidělenou IP adresu a je připraveno komunikovat. [15][16]

10.2 Operační systém

Operační systém, který v mikrokontroléru MSP430F5418 běží, je převzat z původního softwaru gatewaye. V hlavní funkci je volána funkce `TaskCreate()` pro vytvoření jednotlivých úloh, jejichž běh je nutný pro správnou činnost gatewaye. Jako parametr funkce `TaskCreate()` je zadávána hlavní funkce úlohy, název úlohy, její priorita, stav, režim spouštění a ukazatel na schránku úlohy.

Součástí operačního systému jsou také časovače. Ty jsou vytvářeny pomocí funkce `TimerCreate()`. Jako parametr funkce pro vytvoření je zadávána hlavní funkce časovače, název časovače, jeho perioda, typ a stav.

Po vytvoření jednotlivých úloh je volána funkce `RunOS()`, která předává řízení operačnímu systému. Operační systém se pak již stará o spouštění jednotlivých úloh a obsluhu časovačů.

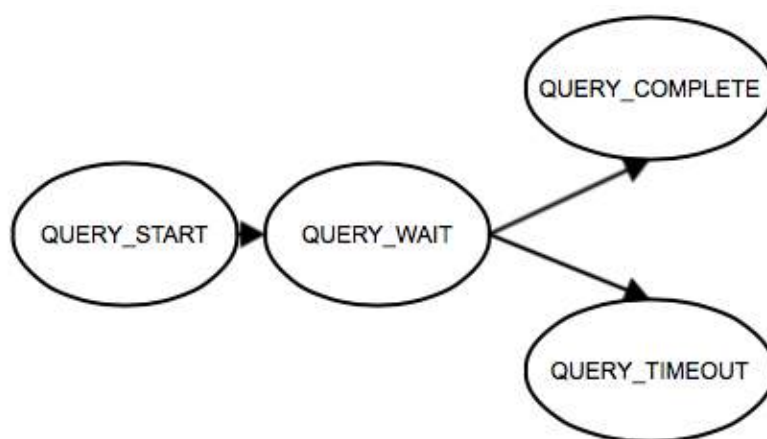
Navržená aplikace obsahuje celkem čtyři úlohy a dva timery. Spuštěné úlohy si mezi sebou předávají data pomocí bufferů a příznaků indikující jejich naplnění.

10.3 Úlohy systému

Vzhledem k použití stejného mikrokontroléru MSP430F5418, jako v původním prototypu, bylo možné využít některé úlohy z původního softwaru gatewaye. Dále jsou popsány tyto převzaté a pro naši aplikaci upravené úlohy. Úloha `WifiDriverProcess` slouží ke komunikaci s Wi-Fi modulem CC3100 a nahrazuje původní úlohu obsluhující Wi-Fi modul z původního řešení gatewaye.

10.3.1 Úloha VestaDriverProcess

Úloha VestaDriverProcess obstarává správnou funkčnost komunikace na rozhraní UART, tedy mezi řídicí jednotkou ohřívače vody a naší gateway. Jedná se o stavový automat skládající se ze 4 stavů. Úloha nejprve vyšle požadavek na data a následně přijme odpověď od řídicí jednotky. Schéma tohoto stavového automatu je uvedeno na Obr. 22.



Obr. 22 – Schéma stavového automatu úlohy VestaDriverProcess

Funkce automatu je spuštěna nastavením stavu na hodnotu QUERY_START. Ve stavu QUERY_START dochází k sestavení Modbus rámce na základě funkčního kódu a dat předaných jako parametr při nastavování stavu. Po sestavení rámce jsou data odeslána přes rozhraní UART. Po odeslání přechází automat do stavu QUERY_WAIT.

V tomto stavu se nejprve čeká na uplynutí ochranného intervalu od odeslání požadavku. Po uplynutí této doby je vyčítána odpověď z rozhraní. Přijatá data jsou předávána do společného bufferu. Po úspěšném přijetí je automat převeden do stavu QUERY_COMPLETE. Pokud do stanoveného času nepříjde odpověď, je nastaven stav QUERY_TIMEOUT.

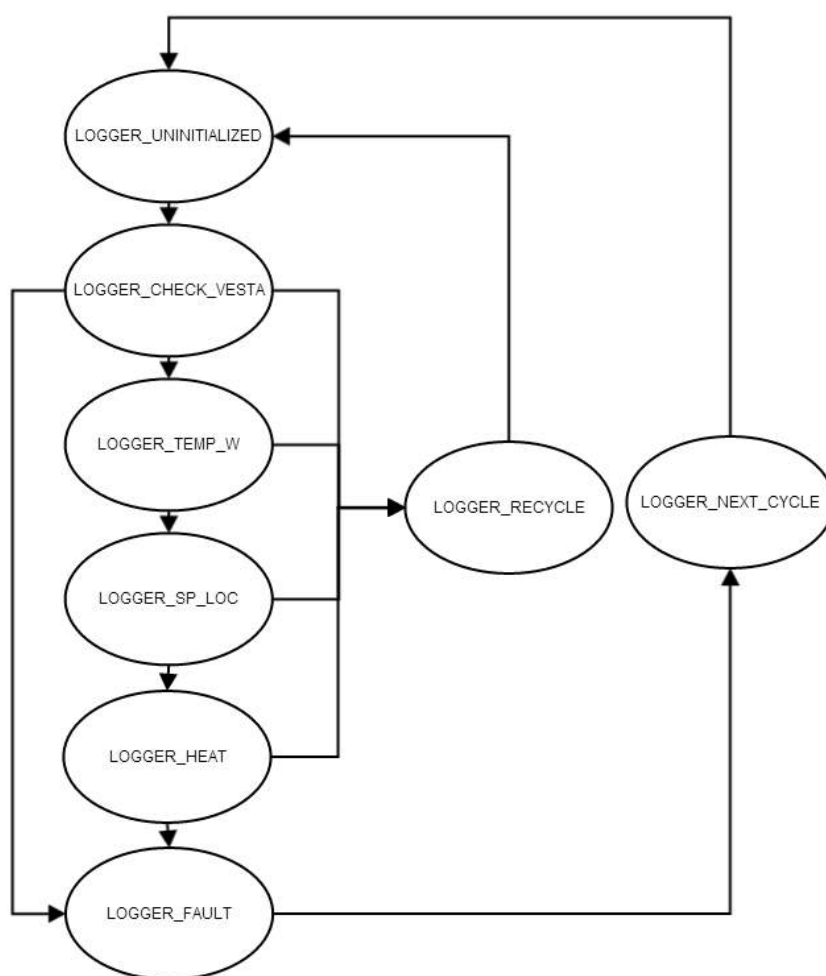
10.3.2 Úloha VestaLoggerProcess

Další úlohou je úloha VestaLoggerProcess obsahující stavový automat o osmi stavech. Schéma automatu je na Obr. 23.

Výchozím stavem automatu je stav LOGGER_UNINITIALIZED. V tomto stavu se pouze odesílají data pro inicializaci spojení. Stav LOGGER_CHECK_VESTA

nejprve kontroluje, zda nedošlo v úloze VestaDriverProcess k přechodu do stavu QUERY_TIMEOUT. Pokud se tak stalo, je nastaven alarm a stav LOGGER_RECYCLE.

Pokud je stav úlohy VestaDriverProcess nastaven na QUERY_COMPLETE, dochází ke kontrole volného místa v přijímacím bufferu. Pokud je buffer zaplněn, je odeslán rámec pro vyčtení chybového stavu a je nastaven stav LOGGER_FAULT. V opačném případě je nastaven stav LOGGER_TEMP_W a je odeslán požadavek na aktuální teplotu vody.



Obr. 23 – Schéma stavového automatu úloh VestaLoggerProcess

Stav LOGGER_TEMP_W slouží k vyčtení aktuální teploty vody. Nejprve je opět kontrolováno vypršení časového limitu a případně nastaven stav LOGGER_RECYCLE. Pokud jsou data správně přijata, je volána funkce pro vytvoření reportu teploty. Po

vytvoření reportu je odeslán požadavek na čtení lokálně nastavené teploty a nastaven stav `LOGGER_LOC_SP`.

Ve stavu `LOGGER_LOC_SP` dochází, obdobně jako v předchozích stavech, ke kontrole vypršení časového limitu. Dále jsou přijata data o nastavené teplotě a vytvořen report. Poté je odeslán požadavek na vyčtení informace o stavu ohřevu a nastaven stav `LOGGER_HEAT`.

Stav `LOGGER_HEAT` má obdobný průběh jako předchozí vyčítající stavy. Dochází ke kontrole vypršení časového limitu, příjmu dat a generaci reportu. Dalším stavem je stav `LOGGER_FAULT`.

Úkolem stavu `LOGGER_FAULT` je vyčíst chybový stav z jednotky.

Posledním stavem je stav `LOGGER_NEXT_CYCLE`, který automat vrací na první stav, tedy `LOGGER_UNINITIALIZED`, po uplynutí časového limitu.

Ve stavu `LOGGER_RECYCLE` se čeká, než uběhne nastavený čas a poté nastává přechod do stavu `LOGGER_UNINITIALIZED`.

10.3.3 Úloha `EnviraLink_main`

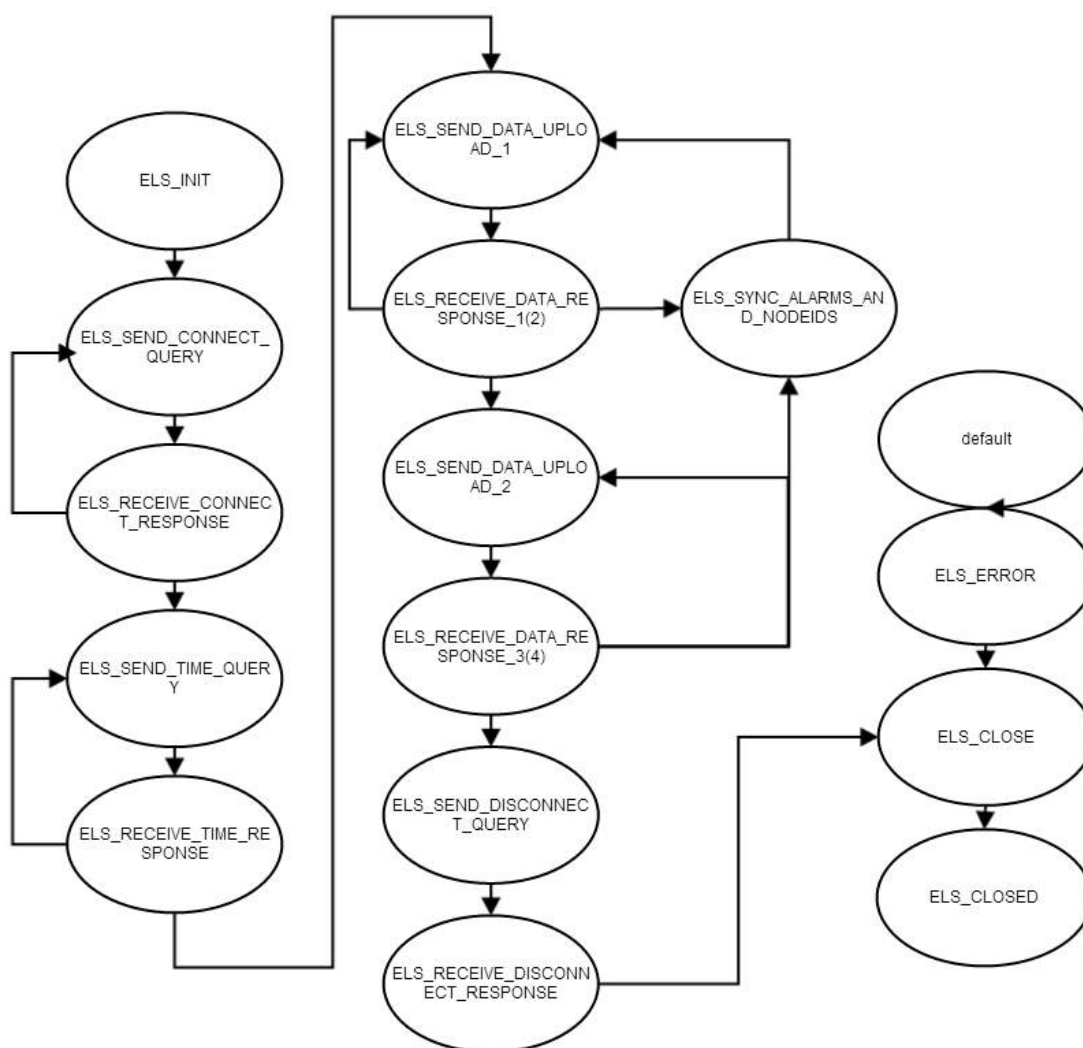
Úloha `EnviraLink_main` obsahuje stavový automat zpracovávající data přijaté pomocí úlohy `VestaLoggerProcess`. Tato data předává úloze pro obsluhu Wi-Fi modulu, která je popsána níže.

Schéma stavového automatu je znázorněno na Obr. 24. Tento stavový automat obsahuje celkem 15 stavů.

Prvním stavem je stav `ELS_INIT`. V něm dochází ke kontrole TCP připojení ke vzdálenému serveru, a pokud je spojení v pořádku, přechází se do stavu `ELS_SEND_CONNECT_QUERY`. V tomto stavu je odeslán požadavek na připojení – Connect Query. Pokud dojde k úspěšnému odeslání požadavku, přechází se do stavu `ELS_RECEIVE_CONNECT_RESPONSE`. Tento stav přijímá odpověď od serveru. Při obdržení potvrzení přechází do stavu `ELS_SEND_TIME_QUERY`. Pokud nedojde k přijetí odpovědi na požadavek připojení, odesílá se znovu Connect Query. Po odeslání Time Query ve stavu `ELS_SEND_TIME_QUERY` přechází automat do stavu `ELS_RECEIVE_TIME_RESPONSE`, kde se kontroluje přijetí odpovědi. Při úspěšném přijetí přecházíme do stavu `ELS_SEND_DATA_UPLOAD_1`, ve kterém dochází k odeslání první části dat a přechodu do stavu `ELS_RECEIVE_DATA_RESPONSE_1(2)`. Po přijetí správné odpovědi dochází k přechodu do stavu `ELS_SEND_DATA_UPLOAD_2`, kde je odeslána druhá část dat. Při přijetí neodpovídající odpovědi dochází k přechodu do stavu `ELS_SYNC_ALARMS_AND_NODEIDS`, ve kterém dochází k synchronizaci alarmů a opětovnému odeslání dat. Po stavu `ELS_SEND_DATA_UPLOAD_2` nastává přechod do stavu `ELS_RECEIVE_DATA_RESPONSE_3(4)`. Ten má obdobný průběh jako

předchozí stav přijetí odpovědi na odeslání dat. Při přijetí správné odpovědi od serveru dochází k přechodu do stavu ELS_SEND_DISCONNECT_QUERY, ve kterém dochází k odeslání požadavku na server pro odpojení. Dále je ve stavu ELS_RECEIVE_DISCONNECT_RESPONSE přijímána odpověď na odpojení. Při úspěšném odpojení přechází automat do stavu ELS_CLOSE, kde dochází k uzavření celého spojení a přechodu do stavu ELS_CLOSED.

Při neznámém stavu automatu dochází k přechodu do stavu ELS_ERROR a následnému přechodu do stavu ELS_CLOSE.



Obr. 24 - Schéma stavového automatu úlohy EnviraLink_main

10.3.4 Úloha WifiDriverProcess

Úloha WifiDriverProcess obsahuje stavový automat pro obsluhu komunikace s Wi-Fi modulem CC3100, postup připojení TCP spojení se vzdáleným serverem a samotné odeslání dat. Automat obsahuje šest stavů.

Základní stav automatu je stav NS_INIT. V něm dochází k volání funkce sl_Start() pro inicializaci spojení mezi mikrokontrolérem a Wi-Fi modulem CC3100. Poté se přechází do stavu NS_CONNECT_AP ve kterém dochází k připojení Wi-Fi modulu k definovanému přístupovému bodu Wi-Fi. Jako parametr je zadáváno SSID sítě, typ zabezpečení a popř. síťový klíč. V tomto stavu automat setrvává, dokud nedojde k úspěšnému připojení k požadované Wi-Fi síti. Poté automat přechází do stavu NS_CONNECT_TCP. Zde dochází k získání IP adresy vzdáleného serveru enviralink.com. Je zde vytvořen socket a volána funkce pro připojení TCP spojení s parametrem zjištěné IP adresy a portu 2347.

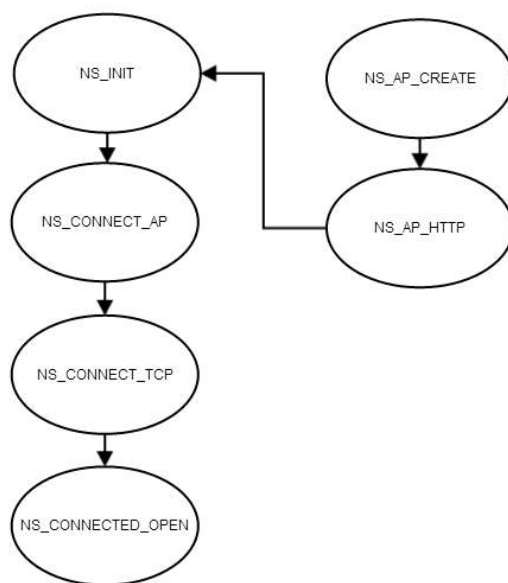


Schéma stavového automatu úlohy EnviraLink_main

Po úspěšném připojení dochází k přechodu do stavu NS_CONNECTED_OPEN. Zde dochází k nastavení příznaku, který je využíván ostatními úlohami OS a ke kontrole obsahu odchozího bufferu. Jakmile je buffer naplněn, dochází k odeslání dat a jeho vyprázdnění. Poté je vyprázdněn přijímací buffer a přijímána odpověď od serveru. Ta je uložena do přijímacího bufferu a dále zpracovávána úlohou EnviraLink_main.

Na začátku této úlohy probíhá testování vstupu P6.7, který je na prototypu vyveden na jumper. Pokud je tento vstup v log. 1 (jumper odpojen), pak je Wi-Fi modul

inicializován a používán výše popsaným způsobem. Pokud připojíme jumper, přechází stavový automat do stavu NS_AP_CREATE, ve kterém je volána funkce pro inicializaci Wi-Fi modulu v režimu přístupového bodu a spuštění http serveru pro konfiguraci zařízení. Po provedení inicializace přechází automat do stavu NS_AP_HTTP, kdy je kontrolován vstupní signál na vstupu P6.7. Pokud dojde k odpojení jumperu, zařízení přechází do režimu klient a je nastaven stav NS_INIT pro jeho inicializaci.

11 KONFIGURAČNÍ ROZHRAŇÍ GATEWAYE

Pro konfiguraci gatewaye navrhované v této práci slouží webové rozhraní. Pro režim konfigurace, je třeba zapojit jumper na vstupu P6.7 mikrokontroléru MSP430F5418. Tím přejde gateway do režimu přístupového bodu. Ten nese název EnviraGW a je bez zabezpečení. Po připojení k této síti je třeba ve webovém prohlížeči zadat doménové jméno `enviralink.com` nebo přednastavenou IP adresu `192.168.1.1`. Tím zobrazíme konfigurační stránku gatewaye. Snímek této stránky je uveden na Obr. 25. Zde je nutné nastavit SSID, typ zabezpečení a případně heslo Wi-Fi sítě, ke které se má naše gateway připojit. Po vyplnění údajů je třeba data potvrdit kliknutím na tlačítko Update. V tuto chvíli je již gateway nastavena a po odpojení konfiguračního jumperu se automaticky připojí k zadané síti.

Konfigurační webová stránka je psána v jazyku HTML a je uložena na sériové paměti flash Wi-Fi modulu. Uživateli je zprostředkována pomocí http serveru, který běží ve Wi-Fi modulu CC3100. Zadávaní údajů je zprostředkováno pomocí callbacků, které jsou přímo podporovány http serverem.



Honeywell

EnviraLINK Gateway

Please enter configuration of your AP:

SSID:

Security Type: ☒ Open ☐ WEP ☐ WPA1

Key:

© 2014 Zrzavý Martin, VUT Brno

Obr. 25 – Konfigurační rozhraní gatewaye

12 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI GATEWAYE

Navržená a vyrobená gateway byla v rámci ověření své funkčnosti zařazena do komunikačního řetězce. Byla připojena k řídicí jednotce ohřívače vody pomocí třívodičového zapojení rozhraní UART. Po spuštění gatewaye se zapojeným konfiguračním jumperem přešla gateway do režimu přístupového bodu. Po připojení k bezdrátové síti jsme přešli v internetovém prohlížeči na stránku gatewaye pomocí její IP adresy a provedli konfiguraci zařízení. Jakmile jsme odstranili konfigurační jumper, došlo k přechodu gatewaye do režimu klienta a gateway se připojila k bezdrátové síti na základě zadaných parametrů. Po úspěšném připojení k Wi-Fi síti gateway správně odesílá diagnostická data na vzdálený server společnosti Honeywell, což jsme ověřili prostřednictvím webového rozhraní serveru <http://www.enviralink.com/>. Snímek ze záznamu připojení gatewaye je zobrazen na Obr. 26. Z řídicí jednotky jsou v pravidelných intervalech vyčítány hodnoty teploty vody získané měřením, teploty vody získané pomocí speciálního algoritmu, aktuální stav požadavku na ohřev a aktuální chybový stav.

Connection History Details					Export XLS	Export CSV
#	Date Time	Connection Type	Logging Gap	Dial-up Number		
1	Aug 5, 2014 11:46:22 PM	Broadband	--	--		
2	Aug 5, 2014 11:16:24 PM	Broadband	29 min, 58 sec	--		
3	Aug 5, 2014 10:46:26 PM	Broadband	29 min, 58 sec	--		
4	Aug 5, 2014 10:16:28 PM	Broadband	29 min, 58 sec	--		
5	Aug 5, 2014 9:46:29 PM	Broadband	29 min, 58 sec	--		
6	Aug 5, 2014 9:16:31 PM	Broadband	29 min, 58 sec	--		
7	Aug 5, 2014 8:46:33 PM	Broadband	29 min, 58 sec	--		
8	Aug 5, 2014 8:16:35 PM	Broadband	29 min, 58 sec	--		
9	Aug 5, 2014 7:46:37 PM	Broadband	29 min, 58 sec	--		
10	Aug 5, 2014 7:16:39 PM	Broadband	29 min, 58 sec	--		

PAGE: 1 2 3

Obr. 26 – Záznam úspěšných připojení gatewaye ke vzdálenému serveru

13 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout bezpečnou gateway pro připojení řídicí jednotky do cloudu pomocí bezdrátové sítě Wi-Fi.

Gateway řeší propojení řídicí jednotky ohříváče vody, která disponuje výstupem ve formě sériového rozhraní UART, a vzdáleného serveru společnosti Honeywell. Přes rozhraní jsou odesílána aktuální data jako je např. aktuální teplota vody.

V úvodu práce je popsána problematika propojení komunikačního řetězce řídicí jednotka ohříváče – vzdálený server. Je zde popsána řídicí jednotka ohříváče vody i v současnosti v praxi používaný nástroj Vesta Serial Adapter, ze kterého návrh gatewaye vychází.

Dále bylo přiblíženo současné nevyhovující řešení ve formě funkčního prototypu. Tento prototyp nevyhovuje zejména z hlediska nákladů a úkolem této práce bylo nalezení vhodné alternativy.

Před samotným návrhem gatewaye jsme si stanovili požadavky, které musí výsledný produkt splňovat. Na základě požadavku společnosti Honeywell byl jako mikrokontrolér pro komunikaci po sběrnici Modbus vybrán mikrokontrolér MSP430F5418. K němu jsme hledali vhodný Wi-Fi modul, který by vyhovoval zadaným požadavkům

Na základě těchto požadavků byly vybrány produkty dostupné na současném trhu. Pro realizaci byl po zvážení všech možností vybrán Wi-Fi modul společnosti Texas Instruments CC3100. Tento produkt byl vybrán především na základě nízkých pořizovacích nákladů. Svou roli také hrál výrobce firma Texas Instruments, která je také výrobcem mikrokontroléru pro komunikaci po sběrnici Modbus. Tím je zajištěna bezproblémová kompatibilita obou mikrokontrolérů a také podpora ze strany společnosti. Tento produkt byl v průběhu vypracovávání práce v předprodejní fázi a k dispozici byl pouze volně nedostupný vývojový kit s předprodukční verzí Wi-Fi modulu. Z tohoto důvodu bylo vybráno řešení gatewaye jako funkčního prototypu, ke kterému se připojuje vývojový kit pomocí dvou dvacetipinových konektorů.

V další části práce byl popsán mikrokontrolér MSP430F5418 sloužící ke komunikaci po sběrnici Modbus. Také jsme si představili vybraný Wi-Fi modul CC3100 a jeho spojení s mikrokontrolérem MSP430 pomocí sériového rozhraní SPI. Součástí kapitoly je také popis dalších součástí obvodového řešení gatewaye.

Na základě uvedeného konceptu byla navržena a vyrobena deska plošných spojů. Jedná se tedy o DPS s mikrokontrolérem MSP430F5418 a na tuto desku je pomocí konektorů připojen vývojový kit Wi-Fi modulu CC3100.

V další části práce byl popsán vývoj softwaru gatewaye. Jelikož je použit stejný mikrokontrolér MSP430F5418 jako ve funkčním prototypu, bylo možné některé úseky zdrojového kódu převzít z původního programu. Provedli jsme portování funkcí

sériového rozhraní SPI pro naši aplikaci a ověřili komunikaci mezi řídicím mikrokontrolérem a Wi-Fi modulem CC3100. Součástí softwarového návrhu gatewaye byla implementace funkcí pro obsluhu Wi-Fi modulu CC3100 do existující aplikace. Problematika zahrnuje komunikaci mezi mikrokontrolérem MSP430F5418 a Wi-Fi modulem CC3100. Dále připojení gatewaye k přístupovému bodu v místě instalace zařízení, založení TCP spojení a funkce spojené s odesíláním a příjmem dat se vzdáleným serverem společnosti Honeywell.

V další kapitole je popsáno konfigurační webové rozhraní gatewaye pro nastavení parametrů sítě, ke které se má gateway připojit.

Poslední kapitola se věnuje ověření funkčnosti celé gatewaye a komunikačního řetězce jako takového.

V rámci této práce byly splněny všechny body zadání. Navržená gateway je po připojení do komunikačního řetězce schopna s jednotlivými prvky řetězce plně komunikovat. Umožňuje přijímat diagnostická data z řídicí jednotky ohřívače vody, připojit se k Wi-Fi síti v místě instalace zařízení. Po připojení do této sítě je schopna založit TCP spojení se vzdáleným serverem a odesílat na něj data přijatá z řídicí jednotky ohřívače.

Při vypracovávání práce jsme se potýkali s problémy souvisejícími s ranou fází vývoje Wi-Fi modulu CC3100. Jelikož tento modul byl v předprodejní fázi, nebyla k dispozici úplná dokumentace a materiály, které byly k dispozici, obsahovaly mnoho nepřesností nebo některé skutečnosti vůbec nezmiňovaly. Problematická byla také neexistence dokumentace ke zdrojovým kódům původní gatewaye společnosti Honeywell a z toho plynoucí nutnost nastudování principu činnosti přímo ze zdrojového kódu.

LITERATURA

- [1] HONEYWELL HTS. WV8860: Electronic Storage Water Heater Control. Interní dokumentace firmy, Brno, 2010.
- [2] CONNECT ONE. Nano WiReach™ SMT: Data Sheet. 2012. Dostupné z: http://www.connectone.com/wp-content/uploads/2012/11/Nano_WiReach_SMT_DS-1_51.pdf
- [3] IEEE 802.11. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. New York, NY: IEEE Computer Society, 2012. Dostupné z: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf>
- [4] HONEYWELL HTS. EnviraLink Communication Protocol. Interní dokument firmy, Brno, 2010
- [5] USI WM-N-BM-09. Universal Scientific Industrial (Shanghai) Co., Ltd [online]. [cit. 2014-01-02]. Dostupné z: http://www.usish.com/english/products_wiced.php
- [6] MURATA. Type VK – WiFi Module: Product Brief. Dostupné z: http://www.murata-ws.com/datastore/media/wifi_bg_brief.pdf
- [7] MURATA. SN8200 Wi-Fi Network Controller Module: User Manual And Datasheet. 2012. Dostupné z: http://www.murata-ws.com/datastore/media/wifi_sn8200_ds.pdf
- [8] MICROCHIP. MRF24WG0MA/MB: Data Sheet. 2012. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70686B.pdf>
- [9] MICROCHIP. RN-131G & RN-131C 802.11 b/g Wireless LAN Module: Data Sheet. 2012. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/rn-131-ds-v3.2r.pdf>
- [10] RTX. RTX4100 Wi-Fi Module: Datasheet DS1. 2013. Dostupné z: http://www.rtx.dk/Files/Billeder/RTX_T/RTX411%20Documentation/RTX4100_Datasheet_DS1.pdf
- [11] TEXAS INSTRUMENTS. TI CC3100R: SimpleLink Single-Chip 802.11bgn Networking Solution Product Preview. 2013.
- [12] TEXAS INSTRUMENTS. MSP430F5418: Mixed signal microcontroller datasheet. 2009. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f5418.pdf>

- [13] TEXAS INSTRUMENTS. MSP430x5xx and MSP430x6xx Family: User's Guide. 2008. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ug/slau208m/slau208m.pdf>
- [14] TAIWAN SEMICONDUCTOR. TS317, TS317: 1.25 V to 37 V Adjustable positive voltage regulator datasheet. Dostupné z: <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000455.pdf>
- [15] TEXAS INSTRUMENTS. CC3100 SimpleLink Single-Chip 802.11bgn Networking Solution: Software Development Kit v0.3 Release Notes. 2013.
- [16] TEXAS INSTRUMENTS. CC3100 SimpleLink Single-Chip 802.11bgn Networking Solution: CC3100 Quick Start Guide. 2013.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

- DPS Deska plošných spojů
- FCC Federal Communications Commission (Federální komise pro komunikaci)
- ETSI European Telecommunications Standards Institute
(Evropský ústav pro telekomunikační normy)
- RoHS Směrnice EU „Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment.“
- WEP Wired Equivalent Privacy (Soukromí ekvivalentní drátovým sítím)
- WPA Wi-Fi Protected Access (Chráněný přístup k Wi-Fi)

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Obsah přiloženého CD

Příloha 2 - Celkové schéma zapojení gateway

Příloha 3 - DPS – soupis použitých součástek

Příloha 4 - DPS – vrstva TOP

Příloha 5 - DPS – vrstva BOTTOM

Příloha 6 - Popis konektorů pro připojení Wi-Fi modulu

Příloha 1 - Obsah přiloženého CD

Elektronická verze práce

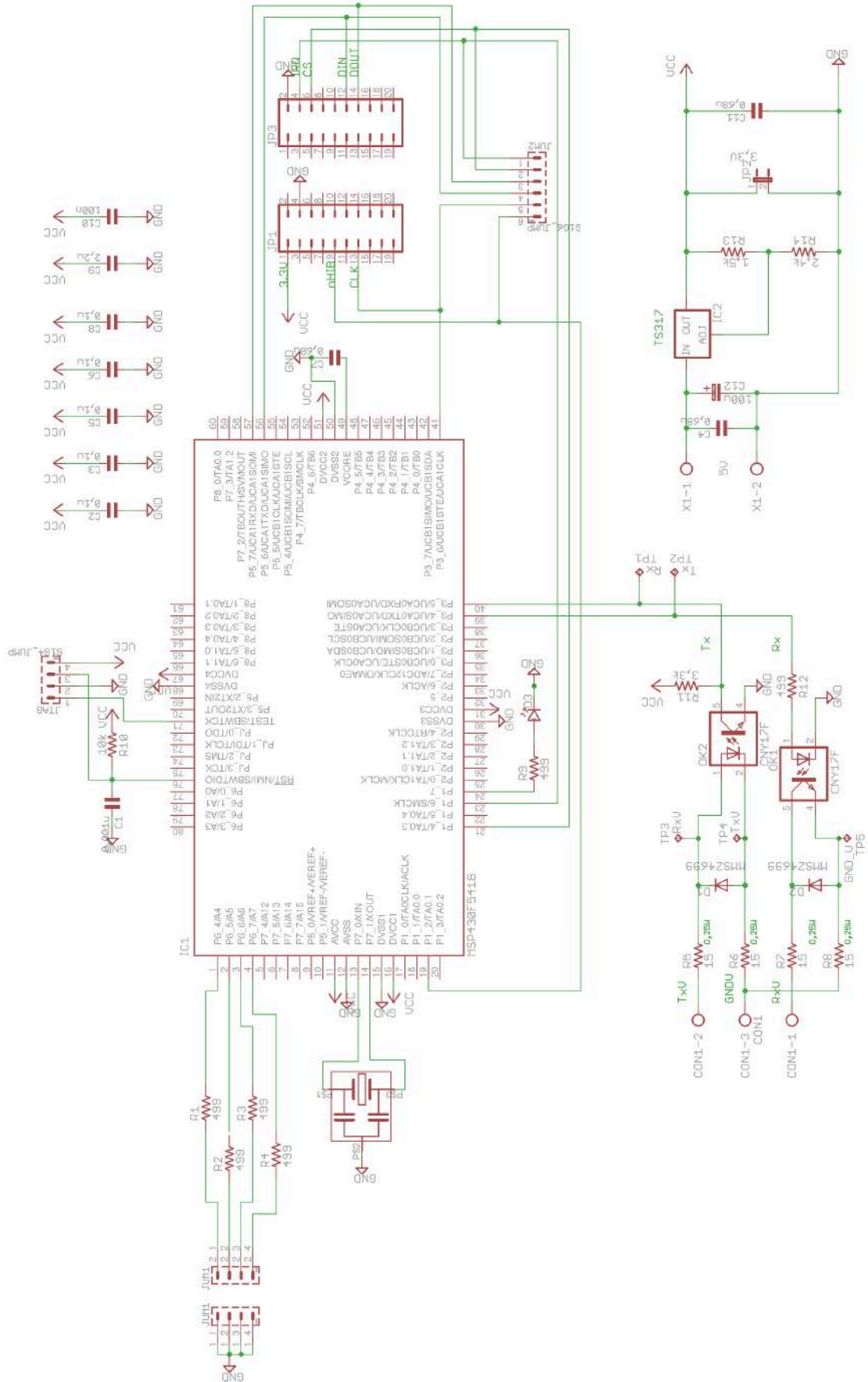
Schéma a návrh DPS

Soubory webové konfigurační stránky

Datasheety

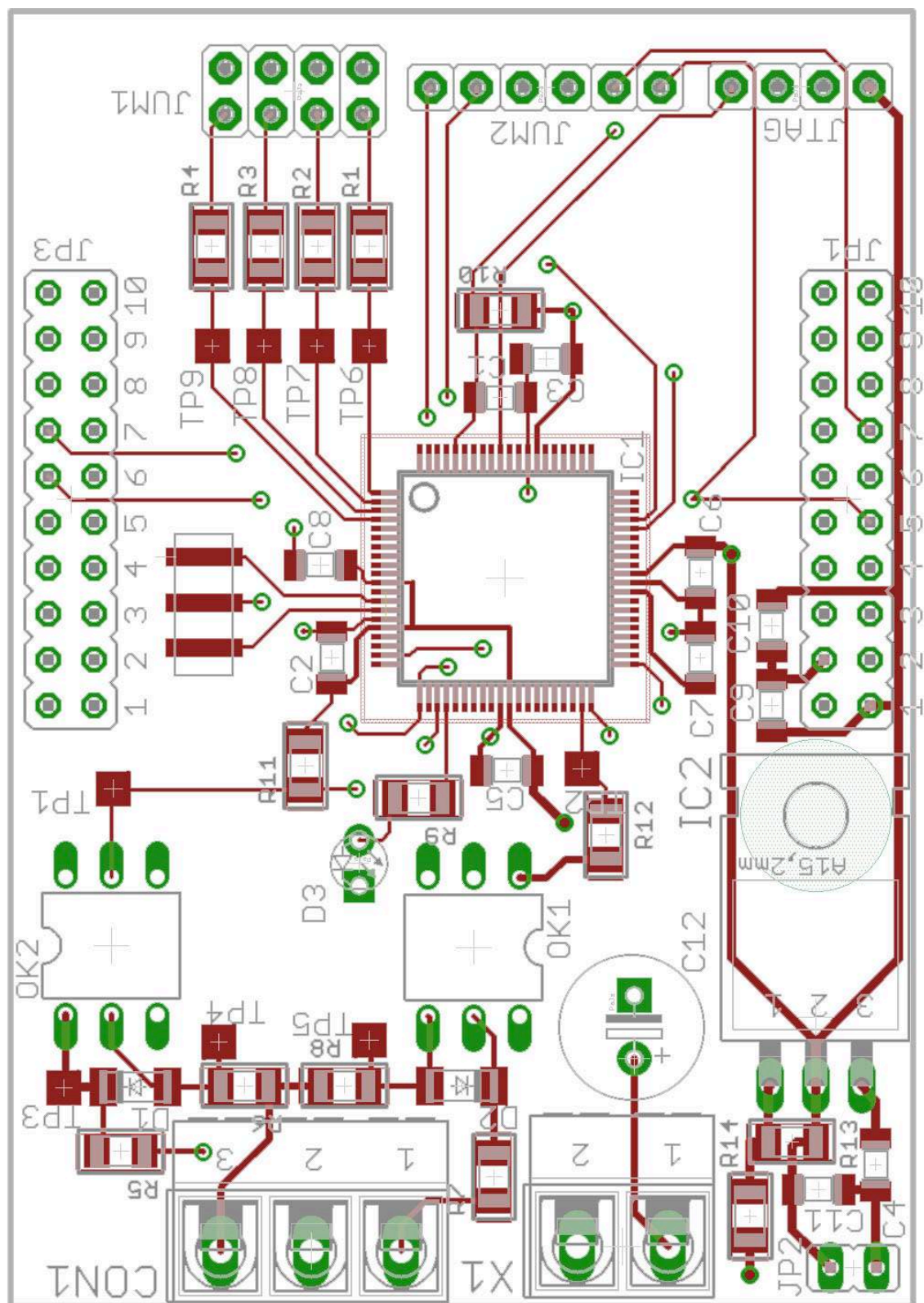
Zdrojové kódy

Příloha 2 – Celkové schéma zapojení gateway

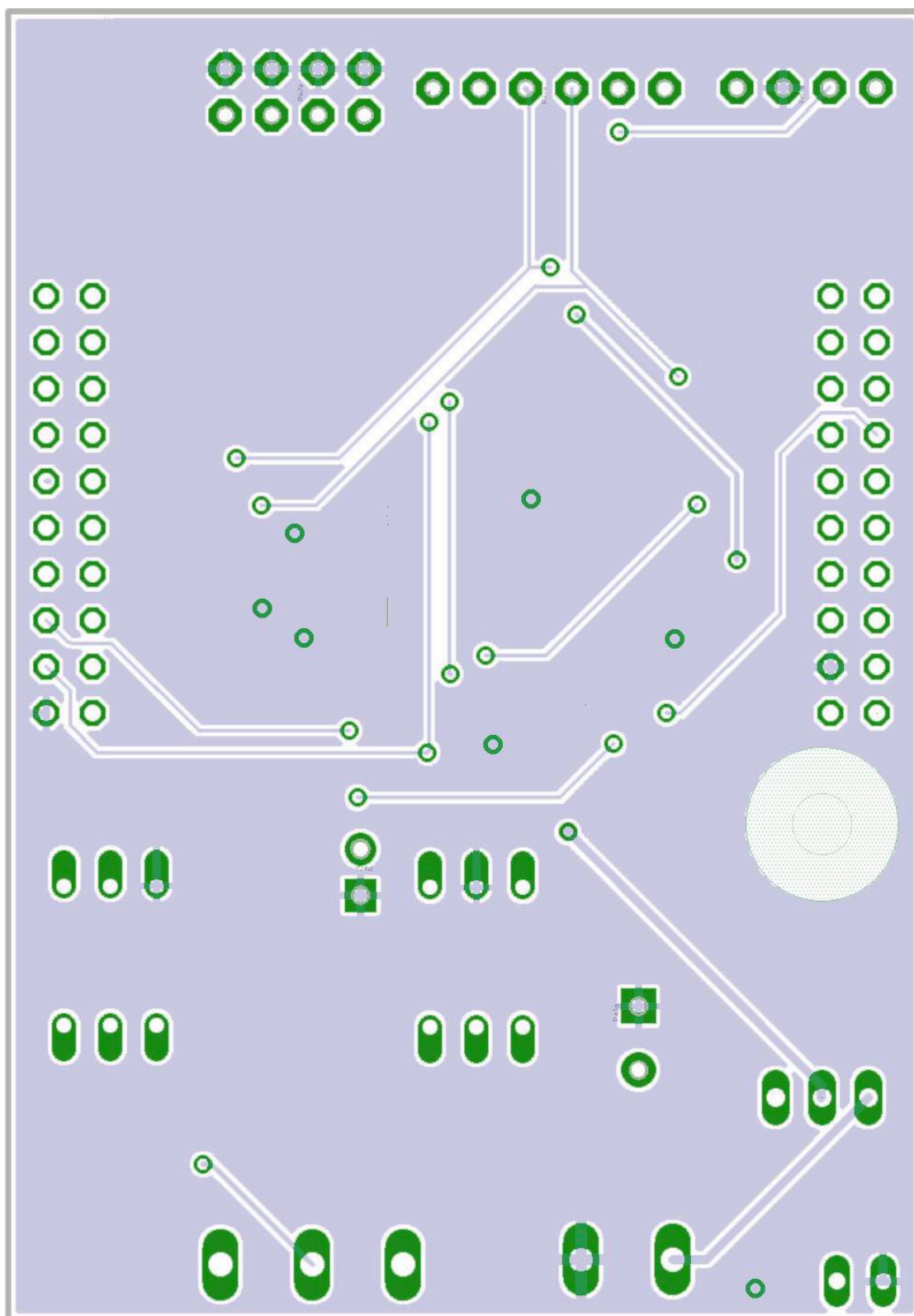


Příloha 3 – DPS – soupis použitých součástek

Množství	Hodnota	Typ	Pouzdro	Součástky	Popis
1		AK500/2-H	AK500/2-H	X1	konektor konektory pro CC3100
2		JP10Q	JP10Q	JP1, JP3	jumper
1		JP1E	JP	JP2	
1		LED	LED	D3	LED - L-HLMP-3507
1	0,001u	C1206	1206	C1	
5	0,1u	C1206	1206	C2, C3, C5, C6, C8	
3	0,68u	C1206	1206	C4, C7, C11	
1	1,5k	R_1206	R1206	R13	
1	100n	C1206	1206	C10	
1	100u	C-EL_3,5	C-EL_3,5	C12	Kondenzátor - elektrolytický
1	10k	R_1206	R1206	R10	
4	15	R_1206	R1206	R5, R6, R7, R8	
1	2,2u	C1206	1206	C9	
1	2,4k	R_1206	R1206	R14	
1	3,3k	R_1206	R1206	R11	
6	499	R_1206	R1206	R1, R2, R3, R4, R9, R12	
2		MMSZ4699	SOD-123_MINI-SMA	D1, D2	Zenerovy diody
2		CNY17F	DIL06	OK1, OK2	optočlen
1		AK500/3-H	AK500/3-H	CON1	CONNECTOR
1		EFOS8004E5	EFOS	Y1	rezonátor
1		TS317	TO220L1	IC2	lineární stabilizátor napětí
1		MSP430F5418	PN_S-PQFP-G80	IC1	řídící mikrokontrolér
1		S1G4_JUMP	S1G4_JUM	JTAG	
1		S1G6_JUMP	S1G6_JUM	JUM2	
1		S2G4_JUMP	S2G4_JUM	JUM1	



Příloha 5 – DPS – vrstva BOTTOM



Příloha 6 - Popis konektorů pro připojení Wi-Fi modulu

Popis vnějších pinů konektorů CC3100

Pin	Název	Směr
P1.1	VCC (3,3V)	vstup
P1.2	-	-
P1.3	UART_TX	výstup
P1.4	UART_RX	
P1.5	nHib	vstup
P1.6	-	-
P1.7	SPI_CLK	vstup
P1.8	-	-
P1.9	-	-
P1.10	-	-

Pin	Název	Směr
P2.1	GND	vstup
P2.2	IRQ	výstup
P2.3	SPI_CS	vstup
P2.4	-	-
P2.5	nRESET	vstup
P2.6	SPI_MOSI	vstup
P2.7	SPI_MISO	výstup
P2.8	-	-
P2.9	-	-
P2.10	-	-

Popis vnitřních pinů konektorů CC3100

Pin	Název	Směr
P3.1	+5V	vstup
P3.2	GND	vstup
P3.3	-	-
P3.4	-	-
P3.5	-	-
P3.6	-	-
P3.7	-	-
P3.8	-	-
P3.9	-	-
P3.10	-	-

Pin	Název	Směr
P4.1	ANT_SEL_1	výstup
P4.2	ANT_SEL_2	výstup
P4.3	-	vstup
P4.4	UART_CTS	vstup
P4.5	UART_RTS	výstup
P4.6	-	vstup
P4.7	NWP_LOG_TX	výstup
P4.8	WLAN_LOG_TX	výstup
P4.9	WL_RS232_RX	vstup
P4.10	WL_R232_TX	výstup